

# PRG

# Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

Organ der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie,  
Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.

Jahrgang 2005, Heft 5

Hauptschriftleiter:  
Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Szangolies

Schriftleiter:  
Prof. Dr. rer.nat. Carsten Jürgens und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert

**Redaktionsbeirat** (Editorial Board): Clement Atzberger, Ralf Bill, Eberhard Gülch,  
Christian Heipke, Barbara Koch, Hans-Gerd Maas, Jochen Schiewe, Matthäus Schilcher  
und Monika Sester



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung  
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2005



Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung  
und Geoinformation (DGPF) e.V.  
Gegründet 1909

Die *Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation* (DGPF) e.V. unterstützt als Mitglieds- bzw. Trägergesellschaft die folgenden Dachverbände:



International Society  
for Photogrammetry  
and Remote Sensing

**DAGM**

Deutsche Arbeits-  
gemeinschaft für  
Mustererkennung e.V.



Alfred-Wegener-Stiftung  
(AWS) zur Förderung  
der Geowissenschaften

Herausgeber:

© 2005 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.  
Präsident: Prof. Dr.-Ing. Thomas Luhmann, Fachhochschule Oldenburg Ostfriesland Wilhelmshaven, Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik, Ofener Str. 16, D-26121 Oldenburg, Tel.: +49-441-7708-3172, e-mail: Praesident@dgpf.de, www.dgpf.de  
Geschäftsstelle: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Ostmarkstraße 92, D-48145 Münster, e-mail: klaus.komp@eftas.com

Published by:

E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3 A, D-70176 Stuttgart. Tel.: 07 11/35 14 56-0, Fax: 07 11/35 14 56-99, e-mail: mail@schweizerbart.de  
Internet: <http://www.schweizerbart.de>

© Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

All rights reserved including translation into foreign languages. This journal or parts thereof may not be reproduced in any form without permission from the publishers.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in dieser Zeitschrift berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Verantwortlich für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren.

ISSN 1432-8364

Hauptschriftleiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Szangolies, Closewitzer Str. 44, D-07743 Jena. e-mail: Klaus.Szangolies@t-online.de

Schriftleiter: Prof. Dr. rer. nat. Carsten Jürgens, Ruhr-Universität Bochum, Geographisches Institut, Gebäude NA 7/133, D-44780 Bochum, e-mail: carsten.juergens@rub.de und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 103, D-14473 Potsdam, e-mail: eckhardt.seyfert@lvermap.brandenburg.de  
Erscheinungsweise: 7 Hefte pro Jahrgang.

Bezugspreis im Abonnement: € 118,- pro Jahrgang. Mitglieder der DGPF erhalten die Zeitschrift kostenlos.

Anzeigenverwaltung: Dr. E. Nägele, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3A, D-70176 Stuttgart, Tel.: 0711/35 14 56-0; Fax: 0711/35 14 56-99. e-mail: mail@schweizerbart.de, Internet: <http://www.schweizerbart.de>

Bernhard Harzer Verlag GmbH, Westmarkstraße 59/59a, D-76227 Karlsruhe, Tel.: 0721/944020, Fax: 0721/9440230, e-mail: info@harzer.de, Internet: [www.harzer.de](http://www.harzer.de)

Printed in Germany by Tutte Druckerei GmbH, D-94121 Salzweg bei Passau

## PFG – Jahrgang 2005, Heft 5

### Inhaltsverzeichnis

---

#### Originalbeiträge zum Thema „ESA Mars Express Mission“

ALBERTZ, J. & NEUKUM, G.: HRSC – Die »High Resolution Stereo Camera« auf Mars Express .....	361
SCHOLTEN, F., ROATSCH, T., GWINNER, K., MATZ, K.-D., MERTENS, V., FLOHRER, J., WÄHLISCH, M., GIESE, B., PISCHEL, R., OBERST, J., JAUMANN, R. & NEUKUM, G.: Von Rohdaten aus dem Mars Express Orbit zu Digitalen Geländemodellen und Orthobildern – Operationelle Verarbeitung von HRSC Daten .....	365
SCHMIDT, R., HEIPKE, C., BRAND, R. & NEUKUM, G.: Automatische Bestimmung von Verknüpfungspunkten in HRSC-Bildern der Mars Express Mission .....	373
SPIEGEL, M., STILLA, U., GIESE, B. & NEUKUM, G.: Bündelausgleichung von HRSC-Bilddaten mit Mars Observer Laser Altimeter-Daten als Passinformation .....	381
GWINNER, K., SCHOLTEN, F., GIESE, B., OBERST, J., JAUMANN, R., SPIEGEL, M., SCHMIDT, R. & NEUKUM, G.: Hochauflösende Digitale Geländemodelle auf der Grundlage von Mars Express HRSC-Daten .....	387
ATTWENGER, M. & NEUKUM, G.: Klassifikation von HRSC-Objektpunkten zur Generierung hochwertiger Geländemodelle der Marsoberfläche .....	395
DORRER, E., MAYER, H., HAASE, Y., OSTROVSKIY, A., RENTER, J., RENTSCH, M., REZNIK, S. & NEUKUM, G.: Verbesserung räumlicher Daten durch »Shape-from-Shading« .....	403
DORNINGER, P. & NEUKUM, G.: Das »Topographische Mars Informationssystem« (TMIS) – Konzept und Realisierung eines Systems zur Verwaltung planetenweiter Bild- und Topographiedaten .....	409
GEHRKE, S. & NEUKUM, G.: Das kartographische Softwarepaket <i>Planetary Image Mapper</i> (PIMap) .....	417
LEHMANN, H., GEHRKE, S., ALBERTZ, J., WÄHLISCH, M. & NEUKUM, G.: Großmaßstäbige topographische und thematische Mars-Karten .....	423
BUCHROITHNER, M., GRÜNDEMANN, T., HABERMANN, K. & NEUKUM, G.: Multitemporale und großformatige Echt-3D-Hartkopien der Marsoberfläche .....	429
GIESE, B., OBERST, J., SCHOLTEN, F., HOFFMANN, H., SPIEGEL, M. & NEUKUM, G.: Ein hoch auflösendes digitales Oberflächenmodell des Marsmondes Phobos .....	435

---

#### Berichte

Berichte	
10. GiN-Forum am 18. Mai 2005 in Hannover .....	441
Innovation in Aus- und Weiterbildung mit GIS am 2./3. 6. 2005 in Potsdam .....	441

Hamburger Anwenderforum Terrestrisches Laserscanning am 23. 6. 2005	443
DDGI .....	444
FIG .....	445
Persönliches – Prof. W. Förstner .....	447
Hochschulnachrichten	
Technische Universität Wien – J. Otepka .....	448
– C. Ries .....	449
– C. Künzer .....	450
– D. Gajski .....	452
Universität Osnabrück .....	453
Fachhochschule Stuttgart .....	453
Vorankündigungen .....	454
Buchbesprechungen – P. Kohlstock .....	457
– N. Bartelme .....	458
Zum Titelbild .....	459
Neuerscheinungen .....	460

## HRSC – Die »High Resolution Stereo Camera« auf Mars Express

JÖRG ALBERTZ, Berlin; GERHARD NEUKUM und das HRSC-Co-Investigator Team

**Keywords:** photogrammetry, cartography, High Resolution Stereo Camera, Mars, Mars Express Mission

**Zusammenfassung:** Die *High Resolution Stereo Camera* (HRSC) ist eines der zentralen Instrumente an Bord der europäischen Raumfahrtmission *Mars Express*. Die Kamera ist u. a. für photogrammetrische und kartographische Zwecke entwickelt worden. Mit ihr wird die Planetenoberfläche systematisch in Stereo und in Farbe mit hoher Auflösung aufgenommen. Die gewonnenen Bilddaten dienen der Ableitung präziser Digitaler Geländemodelle und farbiger Orthobilder sowie der Schaffung eines neuen topographischen Kartenwerkes im Maßstab 1:200 000. Für viele Gebiete der Planetenforschung stellen die Daten eine nahezu unerschöpfliche Informationsquelle dar.

**Summary:** *HRSC – The High Resolution Stereo Camera on Mars Express*. The HRSC is a central instrument of the *Mars Express Mission*. The camera system was designed under photogrammetric and cartographic aspects. The Martian surface is systematically imaged in stereo and in color with high resolution. Thus, photogrammetric processing of the acquired image data yields precise Digital Terrain Models and color ortho-images, and a new large-scale topographic map series in 1:200 000 can be generated. Furthermore the images provide a tremendous amount of information for geoscientific interpretation and atmospheric studies as well.

---

### 1 Einleitung

Seit Januar 2004 umkreist die europäische Raumsonde *Mars Express* den Roten Planeten. Sie hat sieben wissenschaftliche Experimente zur Erforschung des Planeten Mars und seiner Atmosphäre an Bord. Eine herausragende Stellung nimmt die *High Resolution Stereo Camera* (HRSC), ein deutscher Missionsbeitrag, mit dem eine neue Ära der Mars-Forschung eingeleitet wird (NEUKUM et al. 2004). Das Kamerasystem ist als erstes speziell unter photogrammetrischen und kartographischen Gesichtspunkten konzipiert worden. Die HRSC liefert multispektrale und Mehrfachstereo-Bilddaten der Marsoberfläche, welche die Ableitung präziser Geländemodelle und die Erstellung eines großmaßstäbigen Kartenwerkes ermöglichen.

Die Leitung des Kamera-Projektes *HRSC on Mars Express* liegt bei Professor Dr. GER-

HARD NEUKUM (Freie Universität Berlin) als *Principal Investigator*. Außer ihm sind über 40 Wissenschaftler verschiedener Disziplinen aus 10 Ländern als Co-Investigatoren mit einer Vielzahl von Mitarbeitern beteiligt. Sie bilden mehrere Arbeitsgruppen mit unterschiedlichen wissenschaftliche Zielsetzungen, nämlich für Photogrammetrie/Kartographie, Geowissenschaften, Spektrophotometrie und Atmosphäre.

### 2 Die »High Resolution Stereo Camera« (HRSC)

Die HRSC war ursprünglich als deutscher Beitrag zu der russischen Raumfahrtmission *Mars'96* entwickelt worden. Nach dem Scheitern dieser Mission im November 1996 wurde die Kamera mit großem Erfolg in Flugzeugmissionen eingesetzt (WEWEL et al. 1998). Die am 2. Juni 2003 gestartete Mission *Mars Express* trug ein technisch leicht



**Abb. 1:** Die HRSC mit dem *Super Resolution Channel* (SRC).

modifiziertes Kamerasystem zum Mars und brachte es in eine Umlaufbahn, von der aus die HRSC seit Januar 2004 Bilddaten der Marsoberfläche aufnimmt.

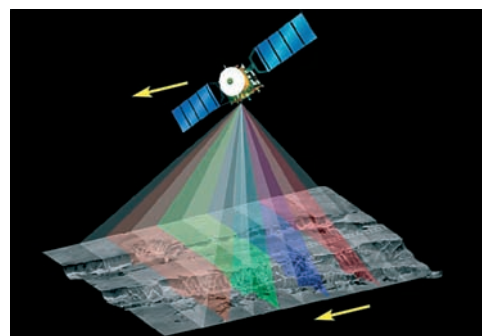
Die HRSC (Abb. 1) ist eine zeilenweise arbeitende Kamera, die für multispektrale und stereoskopische Aufnahme von Bilddaten konzipiert ist. In der Bildebene des Objektivs mit 175 mm Brennweite sind 9 CCD-Zeilensensoren parallel zueinander und quer zur Flugrichtung angeordnet. Die Datenaufnahme erfolgt nach dem Scanner-Prinzip, d. h. durch die Anordnung der Sensorzeilen wird während der Vorwärtsbewegung der Raumsonde ein Geländestreifen Zeile für Zeile aufgenommen. Jedes Flächenelement der Marsoberfläche wird dabei unter 9 verschiedenen Blickwinkeln erfasst (Abb. 2). Für die stereophotogrammetrische Auswertung geeignete panchromatische Bilddaten werden unter den Neigungswinkeln  $+18,9^\circ$ ,  $+12,8^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $-12,8^\circ$  und  $-18,9^\circ$  aufgezeichnet. Die weiteren 4 Kanäle beobachten die Marsoberfläche unter anderen Neigungen in den Spektralbereichen Blau, Grün, Rot und Nahes Infrarot. Jede Bildzeile hat 5184 aktive Pixel.

Erweitert wurde das ursprüngliche Kamerasystem durch den *Super Resolution Channel* (SRC). Dies ist eine langbrennweitige zusätzliche Kamerakomponente mit einem flächigen Detektor-Array von  $1024 \times 1032$  Pixeln. Sie kann als »Lupe« dienen und liefert in der Mitte der HRSC-Streifen kleine Bildausschnitte mit etwa fünffach höherer nomineller Auflösung.

### 3 Datenaufnahme

Die Aufnahme eines Streifens der Marsoberfläche ist schematisch in Abb. 2 dargestellt. Die Aufnahmemöglichkeiten werden durch die stark elliptische Bahn von Mars Express geprägt. Die Flughöhe über der Planetenoberfläche schwankt zwischen etwa 260 km im marsnächsten Punkt (Perizentrum) und etwa 11 000 km. Die höchste Bodenauflösung liegt dann um 10 bis 12 m, so dass in einer Bildzeile ein fast 60 km breiter Geländestreifen aufgezeichnet wird. Bei zunehmendem Abstand vom Perizentrum nimmt die Bodenauflösung ab, und die Streifenbreite wächst entsprechend an. Die Länge eines Bildstreifens hängt u. a. von der Datenspeicher- und Übertragungskapazität ab, beträgt jedoch mindestens 300 km und erreichte bisher bis zu 3700 km. Die Möglichkeiten der Datengewinnung werden außerdem von den jahreszeitlich wechselnden Beleuchtungsverhältnissen und den atmosphärischen Bedingungen (z. B. Staubstürme) bestimmt. In seltenen Fällen können auch die Mars-Monde erfasst werden (GIESE et al. 2005).

Während der Aufnahme müssen die Bilddaten der HRSC komprimiert und an Bord zwischengespeichert werden. Zur Reduktion der Datenmengen können verschiedene Aufnahmemodi gefahren werden. Häufig wird der nadirwärts gerichtete Kanal mit voller Auflösung aufgezeichnet, während die anderen Kanäle mit etwas niedrigerer



**Abb. 2:** Schema der Datenaufnahme mit der HRSC in 9 Zeilen unter verschiedenen Neigungswinkeln.

Auflösung betrieben werden. Die Übertragung der gespeicherten Daten zu Bodenstationen erfolgt während der marsfernen Phasen der Umlaufbahn in Abstimmung mit den Erfordernissen der anderen wissenschaftlichen Experimente.

#### 4 Verarbeitung der HRSC-Bilddaten

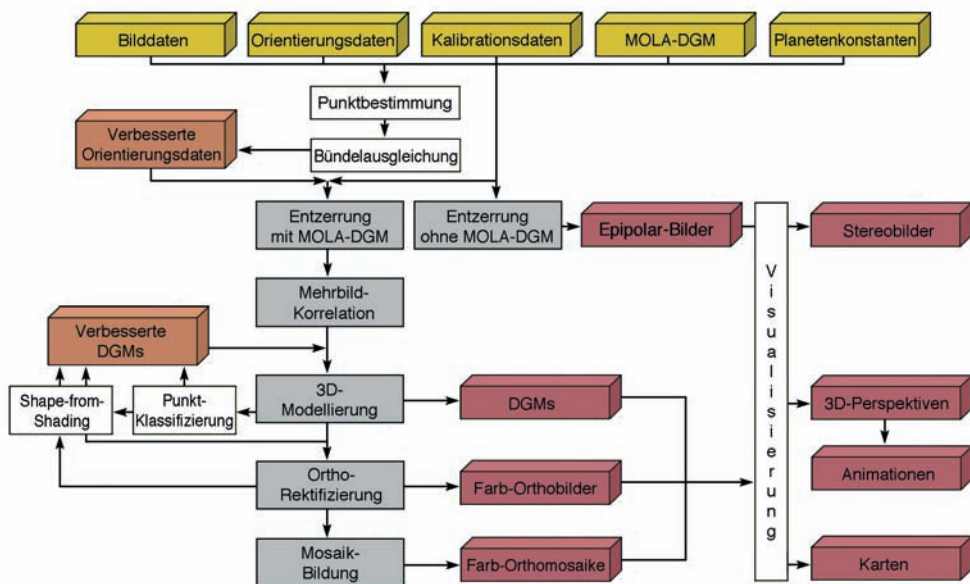
Zur Prozessierung der HRSC-Daten wurde ein komplexes Verarbeitungssystem aufgebaut (SCHOLTEN et al. 2005). Bei der Weiterentwicklung der Verarbeitungsmethoden und der Erstellung hochwertiger photogrammetrisch-kartographischer Produkte wirken das DLR sowie die entsprechenden Arbeitsgruppen der Co-Investigatoren zusammen. Die Abb. 3 gibt einen schematischen Überblick. Daraus wird deutlich, dass die Verarbeitung stufenweise erfolgt und zu Ergebnissen verschiedener Art und unterschiedlicher Qualität führt.

Als geometrische Referenz dienen die von der *Internationalen Astronomischen Union* (IAU) zuletzt angenommenen Planetenkonstanten (SEIDELMANN et al. 2002), die für den Mars ein Rotationsellipsoid mit den Halb-

achsen 3396,19 km und 3376,20 km festlegen. Eine wichtige Grundlage ist außerdem das aus den Messungen des *Mars Orbiter Laser Altimeter* (MOLA) abgeleitete Oberflächenmodell des Planeten, welches als Initial-Topographie für die HRSC-Datenverarbeitung dient. Zur schrittweisen Verfeinerung der Ergebnisse werden u. a. Methoden der photogrammetrischen Bündeltriangulation (SCHMIDT et al. 2005, SPIEGEL et al. 2005), Shape-from-Shading (DORRER et al. 2005) sowie Klassifikationsmethoden (ATTWENGER et al. 2005) eingesetzt.

Die hoch aufgelösten Bilddaten der HRSC mit 5 Stereokanälen ermöglichen die genaue Punktbestimmung durch Mehrfachkorrelation und damit die Gewinnung qualitativ hochwertiger Digitaler Geländemodelle (GWINNER et al. 2005). Damit werden anschließend farbige Orthobilder und Bildmosaik abgeleitet, die vielfältige wissenschaftliche Interpretationen sowie die Schaffung eines neuen topographischen Kartenwerks ermöglichen.

Das kartographische Hauptprodukt ist die *Topographic Image Map Mars 1:200 000*, das erste großmaßstäbige Kartenwerk des



**Abb. 3:** Schematische Übersicht über die photogrammetrische Verarbeitung der HRSC-Daten von Mars Express (nach SCHOLTEN et al. 2004).



Planeten (LEHMANN et al. 2005). Zur Herstellung der Karten wurde das Software-Paket *Planetary Image Mapper* (PIMap) entwickelt, mit dem alle Bestandteile einer Karte automatisch generiert werden können (GEHRKE et al. 2005).

Die beteiligten Wissenschaftler haben Zugriff auf die Daten des Experiments über das an der Technischen Universität Wien eingerichtete *Topographische Mars Informationssystem* (TMIS) (DORNINGER et al. 2005).

Für die allgemeine Nutzung werden sechs Monate nach der Aufzeichnung die radiometrisch kalibrierten Rohdaten über das *Planetary Science Data Archive* (PSA) der ESA verfügbar gemacht (ESA 2005). Dort ist auch der Zugriff auf Softwarekomponenten möglich, die für die weitere Verarbeitung durch interessierte Wissenschaftler genutzt werden können.

## 5 Ausblick

Die Ergebnisse des Kameraexperiments *HRSC on Mars Express* erweitern die wissenschaftlichen Kenntnisse über den Planeten in reichem Maße. Die abgeleiteten DGMs und Orthobilder sowie das neue Kartenwerk *Topographic Image Map Mars 1:200 000* werden eine wichtige Grundlage für die künftige Mars-Forschung sein.

## Literatur

- ALBERTZ, J. et al., 2004: Digital Cartography with HRSC on Mars Express. – Internat. Arch. f. Photogrammetry and Remote Sensing **35**, B4: 869–874.
- ATTWENGER, M. et al., 2005: Klassifikation von HRSC-Objektpunkten zur Generierung hochwertiger Geländemodelle der Marsoberfläche. – PFG **2005** (5): 395–402.
- DORNINGER, H., 2005: Das „Topographische Mars Informationssystem“ (TMIS) – Konzept und Realisierung eines Systems zur Verwaltung planetenweiter Bild- und Topographiedaten. – PFG **2005** (5): 409–415.
- DORRER, E. et al., 2005: Verbesserung räumlicher Daten durch „Shape-from-Shading“. – PFG **2005** (5): 403–408.
- ESA, 2005: <http://www.rssd.esa.int/index.php?project=PSA>.
- GEHRKE, S. et al., 2005: Das kartographische Software-Paket „Planetary Image Mapper“ (PIMap). – PFG **2005** (5): 417–422.
- GIESE, B. et al., 2005: Ein hochauflösendes digitales Oberflächenmodell des Marsmondes Phobos. – PFG **2005** (5): 435–440.
- GWINNER, K. et al., 2005: Hoch auflösende Digitale Geländemodelle auf der Grundlage von Mars Express HRSC-Daten. – PFG **2005** (5): 387–394.
- LEHMANN, H. et al., 2005: Großmaßstäbige topographische und thematische Mars-Karten. – PFG **2005** (5): 423–428.
- NEUKUM, G. et al., 2004: The High Resolution Stereo Camera of Mars Express. – ESA Special Publication SP-1240.
- SCHMIDT, R. et al., 2005: Automatische Bestimmung von Verknüpfungspunkten in HRSC-Bildern der Mars Express Mission. – PFG **2005** (5): 373–379.
- SCHOLTEN, F. et al., 2004: HRSC auf Mars Express – Photogrammetrische Datenverarbeitung im planetaren Umfeld. – Publikationen der DGPF **13**: 467–474.
- SCHOLTEN, F. et al., 2005: Von Rohdaten aus dem Mars Express Orbit zu Digitalen Geländemodellen und Orthobildern – Operationelle Verarbeitung von HRSC-Daten. – PFG **2005** (5): 365–372.
- SEIDELMANN, P.K. et al., 2002: Report of the IAU/ IAG Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements of the Planets and Satellites, 2000. – Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy **82**: 83–110.
- SPIEGEL, M. et al., 2005: Bündelausgleichung von HRSC-Bilddaten mit Mars Observer Laser Altimeter-Daten als Passinformation. – PFG **2005** (5): 381–386.
- WEWEL, F. et al., 1998: Digitale Luftbildaufnahme mit der HRSC – Ein Schritt in die Zukunft der Photogrammetrie. – PFG **1998** (5): 317–332.

### Anschriften der Autoren:

Prof. Dr.-Ing. JÖRG ALBERTZ  
Technische Universität Berlin, Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik, Sekr. H 12  
Straße des 17. Juni 135, D-10623 Berlin  
e-mail: albertz@fpk.tu-berlin.de

Prof. Dr. GERHARD NEUKUM  
Freie Universität Berlin  
Malteserstraße 74–100, D-12249 Berlin  
e-mail: gneukum@zedat.fu-berlin.de

Manuskript eingereicht: Juni 2005  
Angenommen: Juli 2005



## Von Rohdaten aus dem Mars Express Orbit zu Digitalen Geländemodellen und Orthobildern – Operationelle Verarbeitung von HRSC Daten

FRANK SCHOLTEN, THOMAS ROATSCH, KLAUS GWINNER, KLAUS-DIETER MATZ, VOLKER MERTENS, JOACHIM FLOHRER, MARITA WÄHLISCH, BERND GIESE, RENE PISCHEL, JÜRGEN OBERST, RALF JAUMANN, Berlin; GERHARD NEUKUM und das HRSC-Co-Investigator Team

**Keywords:** photogrammetry, Mars Express, HRSC, multi-line scanner, planetary data acquisition, DTM, orthoimage

**Zusammenfassung:** Mars Express HRSC-Daten werden im Rahmen eines standardisierten Verfahrens eines operationellen Bodendatensystems zeitnah zu Digitalen Oberflächenmodellen und Orthobildern verarbeitet. Die bildhaften und 3D-HRSC-Produkte erweitern die Kenntnis der Marsoberfläche. Eine Abdeckung von 40% mit Bildauflösungen von bis zu 10 m und Oberflächenmodellen mit Rasterweiten von 200 m konnte bereits in den ersten 16 Monaten der Mission durch die automatisierten Verfahren erreicht werden.

**Summary:** *From the Mars Express orbit to Digital Terrain Models and ortho images – operational processing of HRSC data.* Mars Express HRSC data are processed to standardized Digital Terrain Models and orthoimages in an operational ground data system within a short time frame of a few days. The resulting HRSC image and 3D data products extend the previous geoscientific knowledge about the Martian surface. A coverage of 40% with image resolutions of up to 10 m and 200 m raster Digital Terrain Models has already been achieved by the automated processes within the first 16 months of the Mars Express mission.

---

### 1 Einleitung

Datengewinnung und Datenverarbeitung in der Planetenforschung erfolgen unter speziellen Bedingungen. In diesem Beitrag über das operationelle Bodendatensystem des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Berlin-Adlershof für das MARS EXPRESS (MEX) HRSC-Kameraexperiment (NEUKUM et al. 2004) beschreiben wir diese besonderen Rahmenbedingungen der Datenaufnahme und -übertragung und stellen den standardisierten Datenverarbeitungsprozess vor. Schließlich wird ein qualitativer und quantitativer Überblick über die im bisherigen Missionsverlauf erzielten

photogrammetrischen Datenprodukte gegeben.

Hauptmotivation der standardisierten Verarbeitung ist die schnelle Ableitung und Bereitstellung bildhafter und dreidimensionaler Datenprodukte mittels weitestgehend automatisierten Prozeduren. Diese bilden einen Ausgangspunkt für die Bearbeitung verschiedener geowissenschaftlicher Fragestellungen, wie für die gezielte und kontrollierte Ableitung höherwertiger Datenprodukte mit verfeinerten Methoden. Die Daten des US-amerikanischen *Mars Orbiter Laser Altimeters* (MOLA), die zwar eine hohe Punktgenauigkeit, aber mit Punktabständen von 330–11000 m deutliche Lücken

aufweisen, stellen dabei die Referenz für die erzielten HRSC-3D-Produkte dar.

Die Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur weiteren Optimierung der Produktqualität, die in die nachfolgend beschriebene Verarbeitungskette integriert werden können, sind Gegenstand weiterer Arbeiten, über die in anderen Beiträgen dieses Heftes berichtet wird.

## 2 HRSC-Datenfluss vom MARS Express Orbiter zum Bodendatensystem des DLR

In der Regel werden HRSC-Daten, JPEG-komprimierte Bild- sowie diverse Meta-Daten (z. B. Kommandierungsparameter, Zeitinformation, Daten von Temperatursensoren) im marsnahen Teil (Perizenter) des hochelliptischen MEX-Orbits aufgezeichnet und auf dem Massenspeicher des Orbiters als Datenstrom in Multiplex-Form abgelegt. Im marsfernen Bereich des Orbits werden diese Daten (zusammen mit Daten der anderen MEX-Instrumente) vom Orbiter zur Erde gefunkt. (Anm.: Nicht in jedem MEX-Orbit ist der Orbiter zur Marsoberfläche ausgerichtet bzw. stehen Kapazitäten im Massenspeicher für HRSC-Daten zur Verfügung).

Neben der Empfangsstation der ESA in New Norcia (Australien) werden auch Kapazitäten des US-amerikanischen *Deep Space Network* (DSN) für MEX genutzt. Die Daten der Empfangsstationen werden am *European Space Operations Centre* (ESOC) in Darmstadt gesammelt und in die Anteile der einzelnen Instrumente aufgeteilt. Der HRSC-Anteil der Daten wird vom DLR per Datenleitung abgefordert und liegt somit als Daten-Level-0 für die weitere Verarbeitung im Bodendatensystem vor. Tab. 1 gibt einen Überblick über Kenndaten des HRSC-Datenflusses.

Zusätzlich zu den an Bord aufgezeichneten HRSC-Bild- und Meta-Daten stehen für die weitere Verarbeitung Labor-Messdaten der Inneren Orientierung sowie radiometrische Kalibrationsdaten der Kamera bereit. Daneben werden vom ESOC als Äußere Orientierung die Daten des nominellen Or-

**Tab. 1:** HRSC-Datenaufnahme und -übertragung.

Aufzeichnungsdauer/Orbit	2–30 min
Daten/Orbit (komprimiert)	bis 4 Gbit
Downlinkzeiten/Tag	bis 22 Std.
Downlinkrate	20–200 kbit/s
Transfer ESOC → DLR	50 Mbit/s
$\Delta t$ Datenaufnahme bis Einspielung in das DLR-Bodendatensystem	einige Stunden bis wenige Tage

bits (Positionsdaten) sowie der nominellen Ausrichtung des Orbiters bereitgestellt, aus der sich zusammen mit den Daten des nominellen Alignments der Kamera zum Orbiter die jeweiligen Lagedaten ergeben.

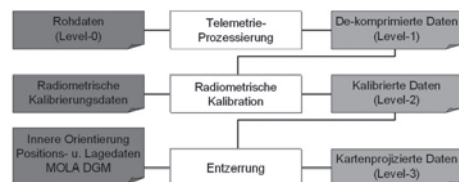
Während die nominelle Ausrichtung des MEX-Orbiters durch Steuerungsmanöver auf Grundlage der Beobachtungen mehrerer MEX-Sternenkameras weitestgehend realisiert wird und von Seiten des ESOC unverändert bleibt, werden die Positionsdaten des Orbiters durch Doppler-Trackingmessungen rekonstruiert und diese verbesserten Positionsdaten vom ESOC nachträglich bereitgestellt (siehe hierzu auch Abschnitt 5).

## 3 Systematische Vorverarbeitung

Die systematische Daten-Aufbereitung umfasst 3 Hauptkomponenten (Abb. 1):

### 3.1 Prozessierung der Telemetriedaten

Im Rahmen dieses Schrittes wird der Multiplex-Datensatz in die Daten der einzelnen 10 HRSC-Sensoren (9 HRSC-Kanäle sowie der *Super Resolution Channel SRC*) aufge-



**Abb. 1:** Systematische Verarbeitungsschritte.

gliedert. Weiterhin erfolgt die De-Kompression der Bilddaten sowie die Zuordnung der Meta-Daten zu den einzelnen Datenteilen (Bild-Zeilen). Das Ergebnis wird als Level-1 bezeichnet.

### 3.2 Radiometrische Kalibration

Mit Hilfe der Labor-Kalibrationsdaten und der aufgezeichneten Meta-Daten der Kamera, die die Datenaufzeichnung mit variablen Belichtungszeiten und Verstärkungen in einem breiten Dynamikbereich ermöglicht, werden die 8-bit-Rohdaten der einzelnen Kanäle korrigiert, in einem 16-bit umfassenden Grauwertbereich dargestellt und als kalibrierter Level-2 Datensatz inklusive der Daten der Äußeren Orientierung je Bildzeile abgelegt. Die Parameter für die Umrechnung der Grauwerte in physikalische Größen (Radianzen) werden im Bildlabel protokolliert.

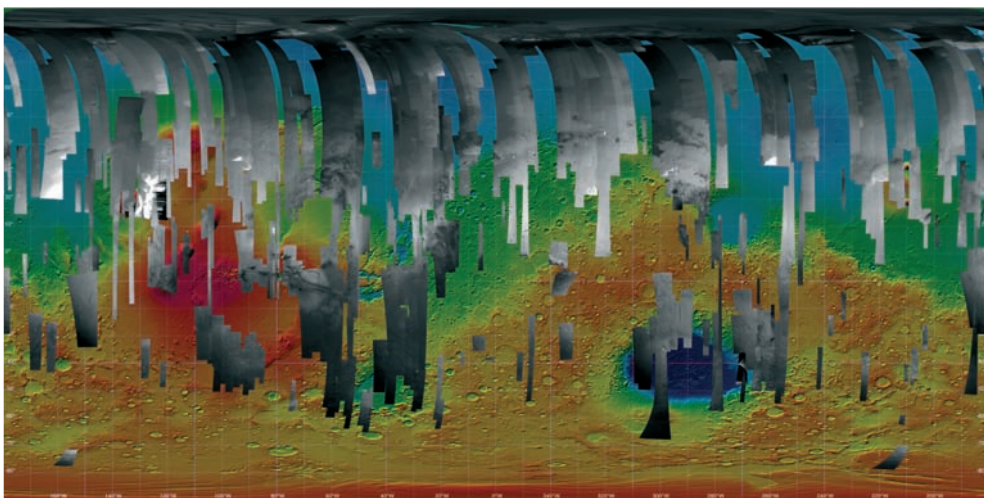
### 3.3 Entzerrung mit Hilfe von MOLA- DGM

Letzter Schritt der systematischen Verarbeitung ist die Entzerrung der Level-2 Daten auf der Basis der a-priori vorhandenen Information zur Marstopographie. Hierzu wird ein aus MOLA-Messdaten interpolier-

**Tab. 2:** Daten zur systematischen Verarbeitung.

Δt Level-0 – Vorliegen von Level-3 Daten	1–2 Tage
Stand: 15. 5. 2005:	
Anzahl HRSC Orbits	427
Level-2 Datenvolumen	685 GByte
Mars-Abdeckung	58 Mio.km <sup>2</sup> (40%)
besser als 50 m/pxl	48 Mio.km <sup>2</sup> (33%)
besser als 20 m/pxl	20 Mio.km <sup>2</sup> (14%)

tes Digitales Geländemodell verwendet (SMITH et al. 2003). Die geometrische Auflösung der resultierenden Level-3 Daten wird entsprechend der Original-Bodenaufklärung gewählt (Standardauflösungen sind 12,5/25/50 und 100 m/pxl, Standardprojektionen: Lambert Azimutal für polnahe Regionen, ansonsten Sinusoidal). Somit liegt bereits nach Abschluss der systematischen Datenverarbeitung je Orbit ein geo(areo)referenziertes Produkt vor, das zusammen mit den Level-2-Daten dem HRSC-Wissenschaftsteam zur Verfügung steht. Die Level-2 Daten sowie Software zur Ableitung von Level-3 Daten werden darüber hinaus nach einer Sperrfrist von 6 Monaten über das *Planetary Science Archive* (ESA 2005), im Format des *Planetary Data System* (NASA



**Abb. 2:** HRSC-Abdeckung der Marsoberfläche auf farbkodiertem MOLA-DGM (Stand: 15. 5. 2005).

2004), veröffentlicht. Die bisher erreichte Marsabdeckung ist in Abb. 2 auf dem Hintergrund des MOLA-DGM dargestellt. Eine Statistik hierzu zeigt Tab. 2.

#### 4 Photogrammetrische Standardverarbeitung

Der Hauptmotivation einer zeitnahen Bereitstellung von bildhaften und 3D-HRSC-Produkten entsprechend, erfolgt die standardisierte photogrammetrische Verarbeitung mit einer automatisierten sequentiellen Prozedur, die die kameraspezifischen Redundanzen des Mehrfach-Stereos nutzt, um die Produktqualität der resultierenden Level-4 Daten weitestgehend zu optimieren. Sie ist in Abb. 3 skizziert und erfolgt auf der Basis der nach der systematischen Vorverarbeitung vorliegenden HRSC Level-2 Bilddaten sowie der nominellen bzw. rekonstruierten Orientierungsdaten (für Daten des SRC-Kanals erfolgt keine Level-4 Prozessierung).

Die verwendeten photogrammetrischen Verfahren (SCHOLTEN et al. 2005 u. 2004, SCHOLTEN 1996, UEBBING 1996, WEWEL 1996) basieren auf Entwicklungen, die ursprünglich an der Technischen Universität Berlin begonnen wurden und bereits seit vielen Jahren am DLR auch im Rahmen von Befliegungen mit HRSC-Kameras weiterge-

führt und erfolgreich eingesetzt werden (SCHOLTEN et al. 2002, WEWEL et al. 2000). Sie können hier nur ansatzweise dargestellt werden.

##### – Vorkorrektur der 5 Stereokanäle

Die Stereokanäle werden unter Verwendung der a-priori Topographiedaten (MOLA-DGM) entzerrt, um die Suchbereiche für die nachfolgende Bildzuordnung zu minimieren. Erfolgt diese Vorkorrektur durch ebene Entzerrung, fallen Quasi-Epipolarbilder an, die bereits für erste Untersuchungen genutzt werden.

##### – Flächenbasiertes Matching

Multi-Stereo-Kreuzkorrelation und Least-Squares-Matching werden in einem pyramidalen Ansatz verwendet, um flächenhaft (im Rahmen der standardisierten Verarbeitung in einem Raster von 100 m) homologe Punkte zu bestimmen.

##### – Objektpunktbestimmung

Aus den Ergebnissen der Bildzuordnung werden mit Hilfe der Orientierungsdaten durch gemeinsamen räumlichen Vorwärtschnitt der durch die 5 Stereokanäle definierten Raumstrahlen 3D-Objektpunkte im marszentrischen Koordinatensystem generiert.

##### – DGM-Interpolation

Aus der generierten Objektpunktwolke wird ein HRSC-200 m Raster-DGM durch Filterung und Interpolation abgeleitet (im Rahmen der standardisierten Verarbeitung werden hierfür nur Punkte mit einem 3D-Punktfehler besser als die 2fache mittlere Standardabweichung aller Punkte verwendet).

##### – Orthobild-Generierung

Mit Hilfe des HRSC-DGM werden abschließend die relevanten Bildkanäle (rot, grün, blau, infrarot sowie der panchromatische Nadirkanal) zu Orthobildern rektifiziert.

Die standardisierte Erstellung der Level-4 Produkte (DGM und Orthobilder, Abb. 4) erfolgt für alle Orbits i. d. R. innerhalb von 1–2 Tagen und wird somit dem Anspruch an eine schnelle Bereitstellung gerecht.

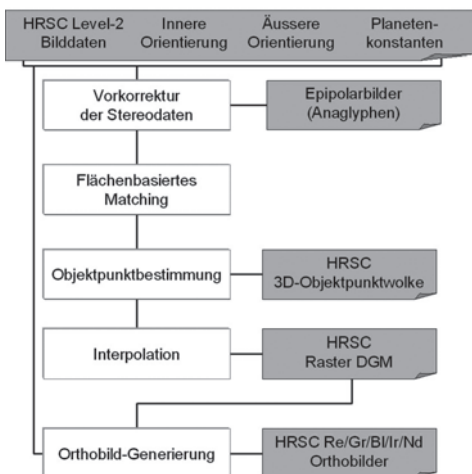
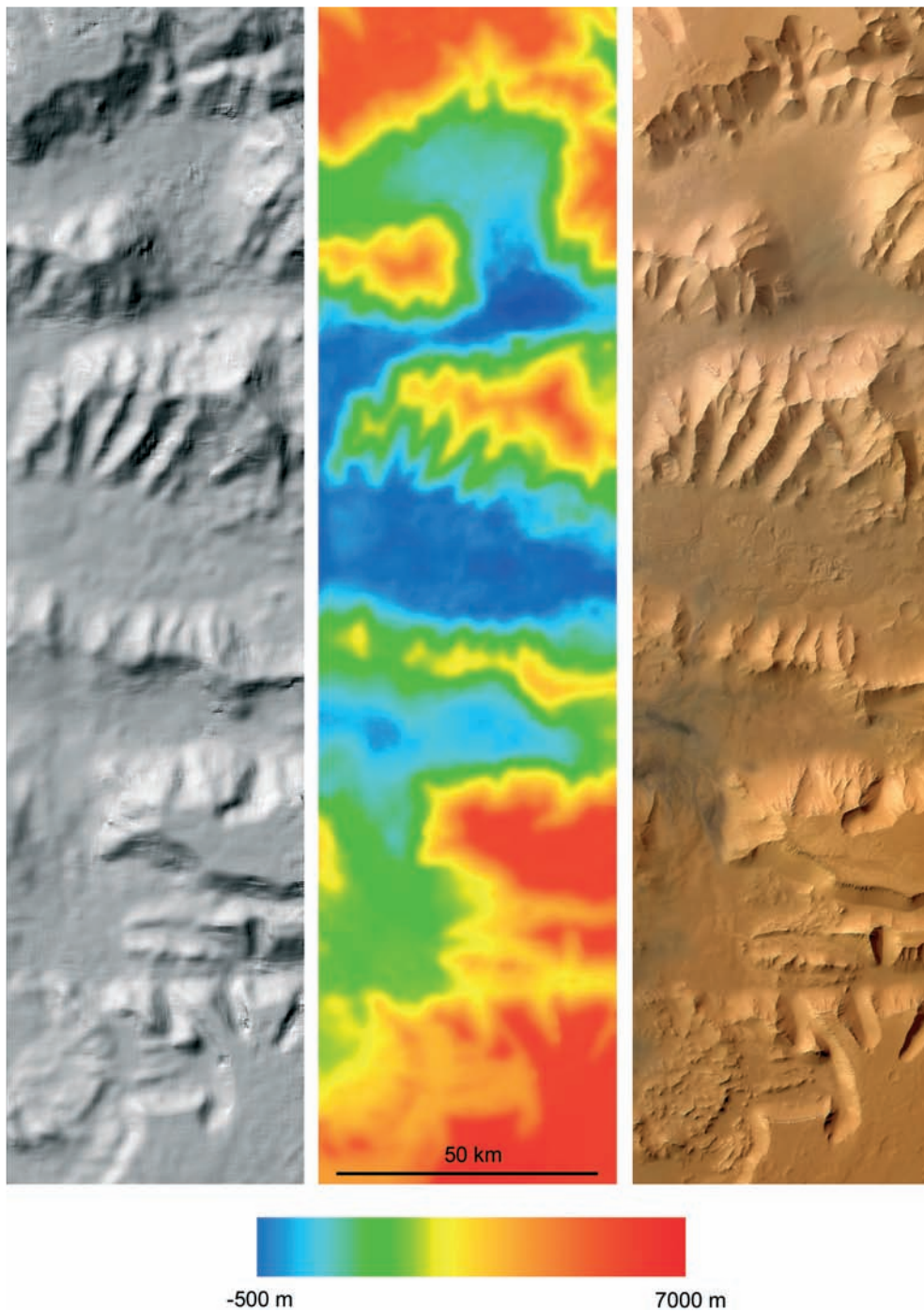


Abb. 3: Photogrammetrische Verarbeitungskette.





**Abb. 4:** Beispiel für standardmäßig erstellte Produkte (aus Orbit 1041). Links: DGM (schattierte Ansicht). Mitte: DGM (farbkodiert mit Höhenskala). Rechts: Farb-Orthobild.

## 5 Vergleich von HRSC-DGM und MOLA-DGM

Daten des MOLA-Instrumentes dienen als Referenz für die Beurteilung der HRSC-3D-Datenprodukte. Abb. 5 zeigt die Auswirkungen der unterschiedlichen Datenaufzeichnungs- und -verarbeitungsmethoden. Das MOLA-Laseraltimeter bietet innerhalb der MOLA-Tracks eine hohe laterale und vertikale Auflösung (ca. 330 m Punktabstand und Höhengenaugigkeiten von bis zu 1 m). Große Abstände zwischen den Tracks (bis zu einigen km in niedrigen geographischen Breiten) führen jedoch zu Datenlücken, die insbesondere an signifikanten Oberflächenstrukturen auffallen.

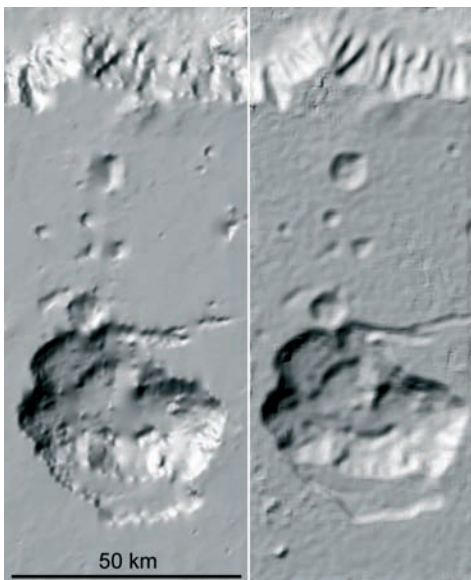
Das mit flächenhaften Bildzuordnungsverfahren erzeugte standardisierte HRSC-DTM zeigt in schwach texturierten Regionen ein stärkeres Rauschen, stellt aber Oberflächenstrukturen bei ähnlicher lateraler Auflösung vollständiger und detailreicher dar.

Die Absolutgenauigkeit des HRSC-DGM eines Orbits hängt von den jeweils im Rahmen der Verarbeitung verwendeten Orientie-

rungsdaten ab. Wie beschrieben, werden je nach Verfügbarkeit teils nominelle, teils rekonstruierte Orbitinformationen genutzt.

Abb. 6 (oben) zeigt die entsprechend unterschiedlichen Differenzen MOLA-DGM zu HRSC-DGM aller bisherigen Orbits. Darunter ist links das Histogramm der Differenzen, das bis zu  $+/- 2000$  m und mehr um Null streut, angegeben. Zuletzt ist repräsentativ Orbit 0334, Nadir-Orthobild unten links, sowie daneben Differenzmuster von 4 Orbitvarianten dargestellt:

- links ein um ca.  $-1000$  m streuendes breites Histogramm, basierend auf dem nominellen Orbit,
- daneben wiederum mit nominellen Orbitdaten, aber nach einer lateralen Anpassung (ca.  $4000$  m in Orbitrichtung). Die Streuung der Höhendifferenzen reduziert sich, liegt im Mittel weiterhin bei  $-1000$  m,
- daneben auf rekonstruierten Daten basierende Höhendifferenzen (ohne laterale Korrektur), wenig um ca.  $-100$  m streuend,
- rechts, auf rekonstruierten Daten basierend sowie nach einer lateralen Korrektur von wenigen Hundert Metern, ein noch schmaleres Differenzhistogramm, um  $-100$  m streuend.

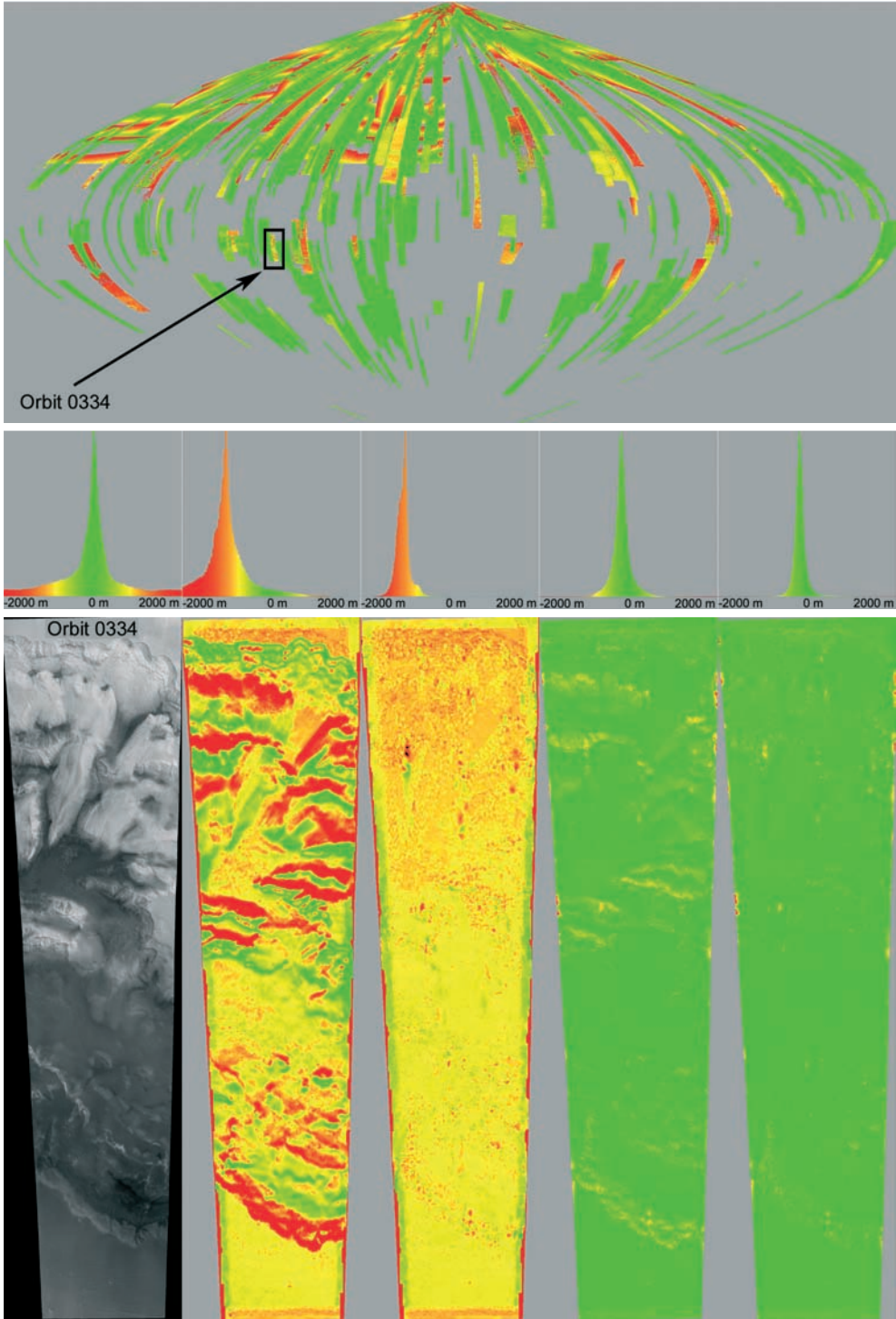


**Abb. 5:** Vergleich MOLA/HRSC-DGM (Ausschnitt aus MEX Orbit 1070).

## 6 Resümee

Mit Hilfe der standardisierten HRSC-Datenverarbeitung können Digitale Geländemodelle im  $200$  m Raster sowie Orthobilder in Auflösungen von bis zu  $12,5$  m/pxl bereits wenige Tage nach der HRSC-Datenaufnahme bereitgestellt werden. Während die auf flächenhafter Bildzuordnung basierenden HRSC-Geländemodelle in texturschwachen Regionen zum Teil Rauschen aufweisen, erweitern sie in äquaturnahen Gebieten die bisher lückenhafte Kenntnis über die Mars-Topographie. Die Absolutgenauigkeit der Produkte hängt von der Art der Orbitdaten ab und beträgt bis zu  $200$  m lateral und  $100$  m vertikal bei Verwendung rekonstruierter Orbitinformation.





**Abb. 6:** Vergleich Standard HRSC-DGM/MOLA-DGM in Abhängigkeit von den verwendeten Orbitdaten (Abschnitt 5).

## Dank

Die Arbeiten des HRSC Principal Investigators, Prof. Dr. GERHARD NEUKUM, an der Freien Universität Berlin werden mit Mitteln des DLR unterstützt. Die Autoren danken dem gesamten DLR-HRSC-MEX Team. Besonderer Dank gilt dem ehemaligen Team-Mitglied Dipl.-Ing. FRANZ WEWEL, für dessen grundlegende Entwicklungen zum photogrammetrischen Verarbeitungssystem.

## Literaturverzeichnis

- ESA, 2005. <http://www.rssd.esa.int/index.php?project=PSA>
- NASA, 2004. <http://pds.jpl.nasa.gov/>
- NEUKUM, G., JAUMANN, R. and the HRSC Co-Investigator Team, 2004: HRSC: The High Resolution Stereo Camera of Mars Express. – ESA Special Publications SP-1240.
- SCHOLTEN, F., 1996: Automated Generation of Coloured Orthoimages and Image Mosaics Using HRSC and WAOSS Image Data of the Mars96 Mission. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing XXXI, B2: 351–356.
- SCHOLTEN, F., GWINNER, K. & WEWEL, F., 2002: Angewandte Digitale Photogrammetrie mit der HRSC. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2000** (5): 317–332.
- SCHOLTEN, F., GWINNER, K., GIESE, B., OBERST, J., ROATSCH, T., JAUMANN, R., NEUKUM, G. und das HRSC-TEAM, 2004: HRSC auf Mars Express – Photogrammetrische Datenverarbeitung im planetaren Umfeld. – Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung **13**: 467–474.
- SCHOLTEN, F., GWINNER, K., ROATSCH, T., MATZ, K.-D., WÄHLISCH, M., GIESE, B., OBERST, J., JAUMANN, R., Neukum, G. and the HRSC CoI-Team, 2005: Mars Express HRSC Data Processing – Methods and Operational Aspects. – Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Special Issue “Mapping of Mars”, (submitted).
- SMITH, D., NEUMANN, G., ARVIDSON, R. E., GUINNESS, E. A. & SLAVNEY, S., 2003: Mars Global Surveyor Laser Altimeter Mission Experiment Gridded Data Record. – NASA Planetary Data System, MGS-M-MOLA-5-MEGDR-L3-V1.0.
- UEBBING, R., 1996: An Automated Digital Approach for the Generation of Digital Terrain Models Using HRSC and WAOSS Image Data of the Mars96 Mission. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing **31**, B3: 894–897.
- WEWEL, F., 1996: Determination of Conjugate Points of Stereoscopic Three Line Scanner Data of Mars96 Mission. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing **31**, B3: 936–939.
- WEWEL, F., SCHOLTEN, F. & GWINNER, K., 2000: High Resolution Stereo Camera (HRSC): multispectral 3D-data acquisition and photogrammetric data processing. – Canadian Journal of Remote Sensing **26**: 466–474.

## Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. FRANK SCHOLTEN, Dr. THOMAS ROATSCH, M.A. Dipl.-Geol. KLAUS GWINNER, Dipl.-Math. KLAUS-DIETER MATZ, Dipl.-Math. VOLKER MERTENS, Dr. JOACHIM FLOHRER, Dipl.-Phys. MARITA WÄHLISCH, Dr. BERND GIESE, Dr. RENE PISCHEL, Dr. JÜRGEN OBERST, Dr. habil. RALF JAUMANN

Institut für Planetenforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), 12489 Berlin

Tel.: + +49-30-67055-326 (F. SCHOLTEN)

Fax: + +49-30-67055-402

e-mail: Vorname.Nachname@dlr.de

Prof. Dr. GERHARD NEUKUM

Freie Universität Berlin, Institut für Geologische Wissenschaften/Planetologie, Maltesserstr. 74–100, D-12249 Berlin, Tel.: + +49-30-83870-579

Fax: + +49-30-83870-118

e-mail: gneukum@zedat.fu-berlin.de

Manuskript eingereicht: Juni 2005

Angenommen: Juli 2005

## Automatische Bestimmung von Verknüpfungspunkten in HRSC-Bildern der Mars Express Mission

RALPH SCHMIDT, CHRISTIAN HEIPKE, Hannover; RÜDIGER BRAND, München;  
GERHARD NEUKUM und das HRSC Co-Investigator Team

**Keywords:** photogrammetry, planetary, camera, matching, scanner, three-line

**Zusammenfassung:** Die genaue Bestimmung der äußeren Orientierung ist eine Grundvoraussetzung jeglicher photogrammetrischen Verarbeitung. Die Aufgabe stellt sich für Daten der HRSC auf Mars Express anders dar als für Bilder der Erdoberfläche. Variable Parameter wie Bildtextur, Kontrast, Datenkompression, optische Dichte und Qualität der äußeren Orientierung erschweren oftmals die Prozessierung der Bilddaten. In diesem Artikel beschreiben wir unsere Arbeit zur automatischen Bestimmung von Verknüpfungspunkten aus HRSC-Bildern der Mars Express Mission. Wir berücksichtigen die speziellen Randbedingungen der Mission, wie die besondere Geometrie der Kamera und Orbits, die obigen Einflussgrößen auf die Bilddaten, sowie eine stabile und laufzeitoptimierte Software zur operationellen und effizienten Verarbeitung großer Mengen von Bilddaten.

**Summary:** *Automatic determination of tie points in HRSC images of the Mars Express mission.* The accurate determination of the exterior orientation is a basic requirement for every photogrammetric processing. This task is posed differently for imagery of the HRSC on Mars Express than for imagery of the earth's surface. Variable parameters like image texture, contrast, data compression, optical depth and quality of the exterior orientation often complicate the processing of the images. In this paper we describe our work on automatic image matching for tie point generation using HRSC imagery. We consider special mission constraints like the particular geometry of the camera and the orbits, above influencing parameters, as well as a stable and run-time optimised software for operational and efficient processing of large amounts of image data.

### 1 Einleitung

Die HRSC (*High Resolution Stereo Camera*) an Bord der europäischen Sonde Mars Express liefert mit ihren neun Zeilensensoren hoch auflösende stereoskopische Bilddaten zur Erzeugung präziser DGMs (Digitale Geländemodelle) und farbiger Orthophotos und Orthophotomosaiken. Einen Überblick über die Mission und eine detaillierte Beschreibung der Kamera ist in NEUKUM et al. (2004) nachzulesen.

Das *Flight Dynamics Team* (FDT) vom ESOC (*European Space Operations Centre*) in Darmstadt berechnet die dreidimensionale Position der Sonde fortwährend mit Hilfe

von Doppler- und Entfernungsmessungen. Der Sternensensor und die Kreisel an Bord der Sonde richten die Lage gemäß der Aufnahmeplanung aus. Eine direkte Messung der Lage findet nicht statt. Diese Werte für Position und Lage können als genäherte äußere Orientierung in der klassischen Photogrammetrie angesehen werden. Es hat sich gezeigt, dass die absolute Genauigkeit der Orbitdaten im Bereich von 100 bis 1500 Metern liegt. Die relative Genauigkeit innerhalb eines Streifens ist dagegen deutlich höher.

Diese Daten der äußeren Orientierung können sowohl in ihrer relativen als auch in ihrer absoluten Genauigkeit verbessert werden. Die photogrammetrische Auswer-

tung erfolgt in zwei Schritten. Zunächst werden am Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI) der Universität Hannover durch digitale Bildzuordnung automatisch Verknüpfungspunkte bestimmt. Diese Punkte nutzt das Fachgebiet für Photogrammetrie und Fernerkundung (FPF) der TU München als direkte Beobachtungen in einer Bündelausgleichung.

In Kapitel zwei dieser Arbeit werden die angewendeten Methoden der photogrammetrischen Punktbestimmung und der digitalen Bildzuordnung vorgestellt. In Kapitel drei werden die Ergebnisse der Bildzuordnung und die erzielten Genauigkeiten präsentiert und diskutiert. Die Methodik der Bündelausgleichung ist im Artikel von SPIEGEL et al. (2005) beschrieben.

## 2 Photogrammetrische Punktbestimmung und digitale Bildzuordnung

Das Prinzip der Punktübertragung von Objekt- zu Bildkoordinaten bei 3-Zeilen-Scannern wird in BRAND et al. (1997) erläutert. Ausgangspunkt sind die erweiterten Kollinearitätsgleichungen für 3-Zeilen-Scanner (EBNER et al. 1994), die den Zusammenhang zwischen Bildkoordinaten  $x$ ,  $y$  und Objektkoordinaten  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  beschreiben:

$$\begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -c \end{pmatrix} = \lambda M^T(\Delta\varphi, \Delta\omega, \Delta\kappa) \cdot D^T(\varphi, \omega, \kappa) \left[ \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} X_0 + \Delta X_0 \\ Y_0 + \Delta Y_0 \\ Z_0 + \Delta Z_0 \end{pmatrix} \right] \quad (1)$$

Die äußere Orientierung bezieht sich auf ein Kamera-Koordinatensystem, welches für alle CCD-Zeilen gemeinsam definiert ist. Für einen bestimmten Auslesezyklus  $n$  ist die äußere Orientierung durch  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$ ,  $\varphi$ ,  $\omega$ ,  $\kappa$  gegeben. Die innere Orientierung ist durch die drei Parameter  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $c$  pro CCD-Zeile im Bildkoordinatensystem definiert. Zusätzlich wird in einer geometrischen Kalibrierung für jede CCD-Zeile die Transformation zwischen dem Bild- und dem Kamerakoordinatensystem, gegeben durch  $\Delta X_0$ ,

$\Delta Y_0$ ,  $\Delta Z_0$ ,  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta\omega$ ,  $\Delta\kappa$ , bestimmt.  $M$  und  $D$  sind Rotationsmatrizen,  $\lambda$  ist ein Maßstabsfaktor.

Die vor der Mission in einem Labor der Firma Dornier, Friedrichshafen, bestimmte innere Orientierung der HRSC wurde während der sechsmonatigen Reise zum Mars durch Sternenbeobachtungen überprüft. Bisher konnten keine Abweichungen festgestellt werden, so dass die innere Orientierung als stabil betrachtet wird.

Die Bildzuordnung folgt einer „vom Groben ins Feine“-Strategie (TANG & HEIPKE 1996), d. h. das Bildzuordnungsergebnis wird schrittweise mit Hilfe von Bildpyramiden verbessert. Als Eingangsdaten werden die HRSC-Bilder, die vom ESOC bestimmten Daten der äußere Orientierung, die im Folgenden als Beobachtungen interpretiert werden, und die Kalibrierungsdaten der inneren Orientierung benötigt. Ein DGM des Mars, welches aus Daten des MOLA-Instruments abgeleitet wurde (NEUMANN et al. 2003), wird als weitere Näherungsinformation genutzt.

Zu Beginn werden Punktmerkmale mit Hilfe des Förstner-Operators (FÖRSTNER 1986) extrahiert, und die Bilder werden paarweise in allen Kombinationen zugeordnet, wobei der Kreuzkorrelationskoeffizient als Ähnlichkeitsmaß dient (*Feature Based Matching*, FBM). Um Mehrdeutigkeiten und Rechenzeit zu reduzieren, werden bei der Übertragung eines Merkmals von einem Bild zum nächsten eine Näherungsposition ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ), wobei  $Z$  anfangs aus dem MOLA-DGM kommt, und ein Suchraum für den korrespondierenden Punkt berechnet. Da für 3-Zeilen-Scanner keine Epipolargeometrie existiert, wird ein Merkmal von einem Bild zum nächsten nach Formel (1) transformiert. Die beobachteten Orientierungsparameter liegen als Funktion der Bildzeilen (Auslesezyklus)  $n$  vor. Für die Transformation vom Objekt- zum Bildkoordinatensystem muss eine zusätzliche Bedingung (2) erfüllt sein, wobei  $x$  in Flugrichtung zeigt:

$$x(n) = x(n, X, Y, Z, X_0(n), Y_0(n), Z_0(n), \varphi(n), \omega(n), \kappa(n)) \quad (2)$$

Diese Nullstellensuche kann mit der bekannten Newton-Methode iterativ gelöst werden, wobei die Ableitung  $x'(n_i)$  aufgrund der lückenlosen Abtastung durch die Pixelgröße des Bildes ersetzt werden kann:

$$n_0 = \text{Initialisierungswert für die Bildzeile}$$

$$n_{i+1} = \frac{n_i - x(n_i)}{\text{Pixelgröße}} \quad i = 0, 1, \dots \quad (3)$$

Zur Bestimmung von Punktupeln aus den zugeordneten Punktepaaren wird ein ungegerichteter Graph aufgebaut; die Knoten des Graphen werden aus den Punktmerkmalen und die Kanten aus den Zuordnungsverbindungen abgeleitet. Dieser Graph wird in Zusammenhangskomponenten unterteilt. Im nächsten Schritt werden die Punktupel gebildet, wobei ein Tupel dadurch charakterisiert ist, dass nur ein Merkmal pro Bild zugelassen wird. Die Komplexität dieses Problems kann allerdings exponentiell wachsen. Anstatt Suchbäume oder Binärsuche anzuwenden, wird ein RANSAC (*Random Sample Consensus*) Algorithmus (FISCHLER & BOLLES 1981) verwendet (BRAND & HEIPKE 1998). Diese Methode beruht auf der Tatsache, dass die Wahrscheinlichkeit, eine gute Konfiguration (richtiges Tupel) durch zufällige Auswahl von Beobachtungen (Merkmal eines Teilgraphen) zu treffen, nach einer bestimmten Zahl von Versuchen sehr hoch ist.

Um das Bildzuordnungsergebnis weiter zu verfeinern, wird anschließend *Multi Image Least Squares Matching* (MI-LSM) nach dem Ansatz von KRUPNIK (1994) durchgeführt, in dem die Verknüpfungspunkte in allen Bildern gleichzeitig zugeordnet werden. Dabei wird auch eine Grauwertanpassung der Bildausschnitte vorgenommen, was insbesondere bei geringer Textur wichtig ist. Da *Least Squares Matching* (LSM) das genaueste bekannte Bildzuordnungsverfahren ist, kann das Ergebnis des FBM verbessert werden. In unserer Implementierung kann pro Pyramidenlevel entschieden werden, ob MI-LSM angesetzt werden soll oder nicht. Um Rechenzeit zu sparen, ist es nach unserer Erfahrung zweckmäßig, nur auf der letzten Ebene (Originalauflösung) MI-LSM durchzuführen.

Am Schluss werden auf jeder Ebene der Bildpyramide durch Vorwärtseinschneiden der Bildkoordinaten der zugeordneten Verknüpfungspunkte Modellpunkte berechnet. Diese dienen in der nächst unteren Ebene als Näherungsinformation zur Suchraumminimierung. Auf der höchsten Ebene wird das MOLA-DGM für diese Aufgabe verwendet. Eine detailliertere Beschreibung des Bildzuordnungsverfahrens ist in HEIPKE et al. (2004) beschrieben.

### 3 Auswertung von HRSC Bildern

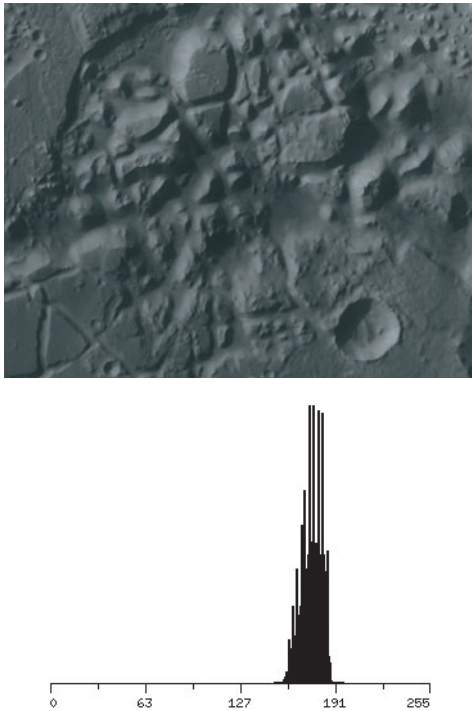
In diesem Abschnitt werden zuerst die ausgewerteten HRSC-Bilder beschrieben. Die Ergebnisse der Bildzuordnung werden im zweiten Teil auf Basis der Orbits 912, 923, 934 sowie eines Blocks aus diesen Streifen präsentiert und diskutiert.

#### 3.1 Daten

In jeder CCD-Zeile der HRSC werden 5176 Pixel genutzt, welche im Perizentrum auf der Marsoberfläche eine Breite von etwa 65 km abdecken. Die Streifen können aus bis zu 300.000 Zeilen bestehen und einen Bereich auf der Oberfläche von 4000 km in Flugrichtung überdecken. Aufgrund einer limitierten Übertragungsbandbreite zwischen Mars und Erde kann nur der Nadir-Kanal mit der vollen Auflösung empfangen werden. An Bord wird die Auflösung der zwei Stereokanäle im Allgemeinen um einen Faktor von 2, die der restlichen Kanäle um einen Faktor von 4 reduziert. Um die gleiche Skalierung der Kanäle zu erreichen wird der Nadir-Kanal für die Bildzuordnung auf die Auflösung der Stereokanäle mit einem Gauß-Filter umgerechnet. Außerdem werden die Bilder mit einer diskreten Kosinustransformation (DCT) – bekannt von der JPEG-Kompression – komprimiert. Abhängig von der überdeckten Marsregion zeigen die Bilder Bereiche mit guter Textur und Bereiche mit sehr geringem Kontrast (Abb. 1). Die Lage des gezeigten Ausschnitts ist als weißes Rechteck in Abb. 3 zu erkennen.

Die vorliegende Untersuchung beruht auf Bildstreifen der Orbits 912, 923, 934, die je-





**Abb. 1:** Oben: Ausschnitt aus Orbit 912 mit guter Textur. Unten: Histogramm aus Bildregion mit niedrigem Kontrast.

weils ca. 80000 Zeilen umfassen, was in etwa 1300 km auf der Marsoberfläche entspricht. Die maximale Auflösung am Boden beträgt 12 m. Da sich diese Orbits überlappen, ist auch eine Auswertung als Block möglich, wobei die Querüberdeckung von 0 bis ca. 25 Prozent schwankt (s. Abb. 2). Die Bildzuordnung wurde mit den original Level-2 Daten (ROATSCH 2000) durchgeführt, d. h. es erfolgte keine geometrische Vorkorrektur der Bilder. Die mittlere Flughöhe der Sonde über der Marsoberfläche beträgt während der Datenaufzeichnung ca. 300 km, so dass die Kamera keinen atmosphärischen Turbulenzen ausgesetzt ist und somit keine hochfrequenten Bildschwankungen entstehen. Die Bildzuordnung wird aber dennoch durch geometrische Verzerrungen aus Maßstabsunterschieden, unterschiedlichen Aufnahmeorientierungen und Belichtungszeiten erschwert. Die Bodenaufklärung der drei Orbits beträgt ca. 24 bis 47 Meter in den Ste-

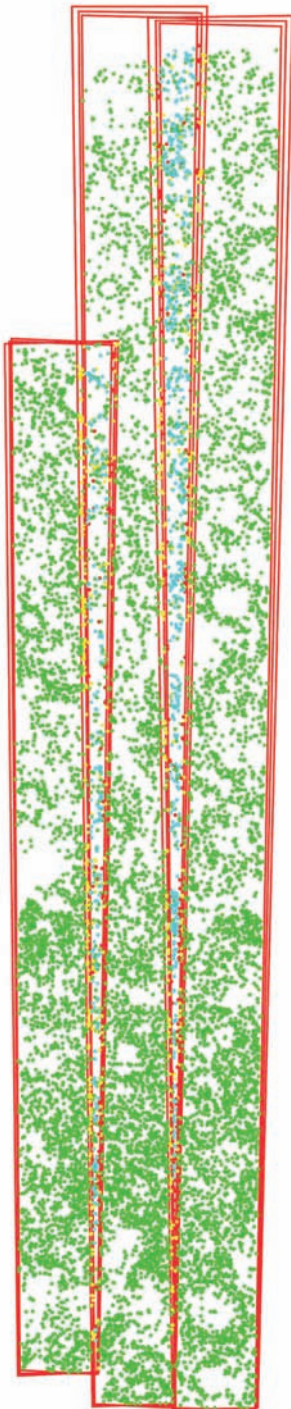
reokanälen, wobei die Nadir-Kanäle in der vollen Auflösung eigentlich 11 bis 20 Meter liefern.

### 3.2 Ergebnisse

In einer ersten Auswertung wird die Verteilung der Verknüpfungspunkte im Bildstreifen/Block analysiert. Es hat sich gezeigt, dass unter Verwendung der vom ESOC gelieferten äußeren Orientierung bei der Streifenverknüpfung zwischen den Orbits 912 und 923 nicht genügend 6-Strahlpunkte gefunden werden. Dies ist damit zu erklären, dass die Differenzen zwischen den beobachteten Orientierungen und den tatsächlichen Werten größer sind als der Konvergenzradius unseres Algorithmus. Daraus hat sich die Strategie entwickelt, die relativ und absolut verbesserten Ergebnisse der drei Einzelstreifen (EBNER et al. 2004) für die Bildzuordnung im Blockverband zu verwenden. Durch diese Maßnahme konnte die Streifenverknüpfung erheblich verbessert werden, so dass nun ausreichend 6-Strahlpunkte zur Verfügung stehen. Der Plot in Abb. 2 zeigt eine gleichmäßige Verteilung der Verknüpfungspunkte über den gesamten Block mit einer sehr guten Verknüpfung zwischen den Orbits. Zum Vergleich ist in Abb. 3 auch das Orthophotomosaik abgebildet, das u. a. mit der vom DLR entwickelten Software erzeugt wurde (s. Beitrag SCHOLTEN et al., dieses Heft). Es ist allerdings auch zu bemerken, dass das Bildmaterial in diesem Gebiet von ausgezeichneter Qualität bezüglich Bildtextur, Kontrast, Datenkompression und optische Dichte ist. Viele andere Orbits weisen deutlich schlechtere Bedingungen auf, so dass die Bildzuordnung hier nicht so viele gleichmäßig verteilte Punkte erzielen konnte.

Als nächstes werden die Strahlenschnitte der Verknüpfungspunkte analysiert, wobei die vom ESOC bestimmten Werte der äußeren Orientierung fehlerfrei eingeführt werden. Dieses Vorgehen kann als Vorwärtsschnitt betrachtet werden. Die erreichten Werte werden mit den Ergebnissen der Bündelausgleichung verglichen, bei der für  $\varphi$  und  $\kappa$  jeweils ein Bias für die ganze Bahn





**Abb. 2:** Verteilung der Verknüpfungspunkte in den Orbits 912, 923, 934 (ohne 2-Strahlpunkte).  
● 13027 3-Strahlpunkte, ● 632 4-Strahlpunkte  
● 246 5-Strahlpunkte, ● 724 6-Strahlpunkte



**Abb. 3:** Mosaik der Orbits 912, 923, 934.

**Tab. 1:** Theoretische Standardabweichung der Objektkoordinaten

Orbit	$\sigma X$ [m]	$\sigma Y$ [m]	$\sigma Z$ [m]
912	35,3/11,3	31,9/10,1	108,2/33,8
923	29,3/10,9	27,0/9,9	90,0/33,0
934	22,8/9,6	22,5/9,1	72,4/29,5
Block	30,8/11,0	28,5/9,9	96,5/33,5

geschätzt wird. Ein Bias für  $\phi$  und  $\kappa$  wird eingeführt, da nur diese zwei Parameter durch die alleinige Nutzung der Verknüpfungspunkte verbessert werden können. Der Bias für die anderen vier Orientierungsparameter  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$  und  $\omega$  kann nur durch Passinformation bestimmt werden.

Tab. 1 zeigt die Genauigkeiten der Objektkoordinaten der Strahlenschnitte für die ausgewählten Orbits. Der linke Wert ist die Standardabweichung der Strahlenschnitte mit der vom ESOC gegebenen äußeren Orientierung. Der rechte Wert zeigt die für die Strahlenschnitte erreichte theoretische Standardabweichung nach der Verbesserung von  $\phi$  and  $\kappa$ . Die Standardabweichung aller untersuchten Orbits liegt im Bereich von etwa 10 m in X und Y. Die Z Genauigkeiten von allen Orbits liegen im Bereich von etwa 33 m. Die Standardabweichung der Strahlenschnitte wird um den Faktor 2 bis 3 verbessert. Bei einer angenommenen Bodenauflösung von 25 m wird eine abschließende Genauigkeit von etwa 0,4 Pixel in X und Y und 1.2 Pixel in Z erreicht.

Insgesamt wurden bis zum jetzigen Zeitpunkt (Mai 2005) von 312 prozessierten Orbits 236 erfolgreich bearbeitet. Bei den verbleibenden 76 Orbits ließ sich aufgrund von fehlerhaften Bildern (14 Orbits), geringer Textur (15x), zu kurzen Streifen (17x), Datenlücken (5x) oder Limb-Aufnahmen (25x) (für Untersuchung der Atmosphäre oder der zwei Monde Phobos und Deimos) kein Ergebnis erzielen. Statistisch gesehen hat sich gezeigt, dass die relative Genauigkeit aller Orbits unter Anbringung eines Bias in  $\phi$  und  $\kappa$  immer um einen Faktor 2 bis 3 verbessert werden kann.

## 4 Zusammenfassung

Die Ergebnisse zeigen die Effizienz der Ansätze der Bildzuordnung zur automatischen Erzeugung der Verknüpfungspunkte. Im erläuterten Beispiel waren die Verknüpfungspunkte mit einer hohen Anzahl von 3-Strahlpunkten gleichmäßig über den ganzen Bildstreifen verteilt. Die Streifenverknüpfung innerhalb eines Blockverbands aus drei Streifen hat eine hohe Zahl von 6-Strahlpunkten ergeben, so dass eine stabile Verknüpfung erzielt worden ist. Es wurde eine Genauigkeit von 0,4 Pixel in der Lage und 1,2 Pixel in der Höhe erreicht, was einer Verbesserung der relativen Genauigkeit um den Faktor 2 bis 3 gegenüber den beobachteten Orientierungswerten entspricht. Diese Ergebnisse sind nicht nur exemplarisch anhand eines Bildstreifens erzielt worden, sondern wurden während der Mission für bisher 312 prozessierte Orbits erreicht, was den erfolgreichen operationellen Einsatz der entwickelten Software demonstriert.

In Zukunft wird durch die steigende Überdeckung verstärkt die Auswertung von größeren Blöcken möglich sein. Insbesondere für geologische und geophysikalische Analysen und Auswertungen, aber auch für Präsentationszwecke werden größere DGMs und Orthophotomosaike benötigt. Um eine hohe Qualität und homogene Daten zu erhalten, sind eine gute Verknüpfung und eine anschließende Bündelausgleichung absolut notwendig.

## Danksagung

Diese Arbeit wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung durch das Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) unter dem Förderkennzeichen 50 QM 0104 gefördert.

## Literatur

- BRAND, R., OHLHOF, T. & STEPHANI, M., 1997: Processing of 3-line imagery on a digital photogrammetric workstation. – In: MCKEOWN, Jr., D., M., MCGLONE, J.C. & JAMET O. (Hrsg.): Integrating Photogrammetric Techni-

- ques with Scene Analysis and Machine Vision III, (3072). – Proceedings of SPIE, Orlando, Florida: 2–10.
- BRAND, R. & HEIPKE, C., 1998: A system for automatic aerial triangulation. – *IntArchPhRS* **32** (2): 27–34.
- EBNER, H., KORNUS, W. & OHLHOF, T., 1994: A simulation study on point determination for the MOMS-02/D2 space project using an extended functional model. – *Geo-Informationssysteme* **7** (1): 11–16.
- EBNER, H., SPIEGEL, M., BAUMGARTNER, A., GIESE, B., NEUKUM, G., and the HRSC Co-Investigator Team, 2004: Improving the exterior orientation of Mars Express HRSC imagery. – *IntArchPhRS* **35**, B4: 852–857.
- FISCHLER, M. A. & BOLLES, R. C., 1981: Random Sample Consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. – *Communications of the ACM* **24** (6): 381–395.
- FÖRSTNER, W., 1986: A feature based correspondence algorithm for image matching. – *IntArchPhRS* **26** (3/3): 150–166.
- HEIPKE, C., SCHMIDT, R., BRAND, R., OBERST, J., NEUKUM, G. and the HRSC Co-Investigator Team, 2004: Performance of automatic tie point extraction using HRSC imagery of the Mars Express mission. – *IntArchPhRS* **35**, B4: 846–851.
- KRUPNIK, A., 1994: Multiple-patch matching in the object space for aerotriangulation. – Technical Report 428, Department of Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University, Columbus.
- NEUKUM, G., JAUMANN, R. and the HRSC Co-Investigator Team, 2004: Mars Express: The Scientific Payload, HRSC: the High Resolution Stereo Camera of Mars Express. – ESA Special Publication SP-1240: 17–35.
- NEUMANN, G. A., LEMOINE, F. G., SMITH, D. E. & ZUBER, M. T., 2003: The Mars Orbiter Laser Altimeter archive: Final precision experiment data record release and status of radiometry. – *Lunar Planet. Sci. XXXIV*, Abstract 1975, Lunar and Planetary Institute, Houston (CD-ROM).
- ROATSCH, T., 2000: HRSC Level-2 product description. – Interner Report, DLR, Berlin.
- SCHOLTEN, F. et al., 2005: Von Rohdaten aus dem Mars Express-Orbit zu Digitalen Geländemodellen und Orthobildern – Operationelle Verarbeitung von HRSC-Daten. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2005** (5): 365–372.
- SPIEGEL, M. et al., 2005: Bündelausgleichung von HRSC-Bilddaten mit Mars Observer Laser Altimeter-Daten als Passinformation. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2005** (5): 381–386.
- TANG, L. & HEIPKE, C., 2003: Automatic relative orientation of aerial images. – *PE&RS* (62) 1: 47–55.

#### Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. RALPH SCHMIDT

Prof. Dr.-Ing. CHRISTIAN HEIPKE

Institut für Photogrammetrie und GeoInformation

Universität Hannover, Nienburger Str. 1

D-30167 Hannover

e-mail: (schmidt, heipke)@ipi.uni-hannover.de

Dipl.-Math.-techn. RÜDIGER BRAND

ESG Elektroniksystem-und Logistik-GmbH

Einsteinstraße 174, D-81675 München

e-mail: rbrand@esg-gmbh.de

Prof. Dr. GERHARD NEUKUM

Freie Universität Berlin, Institut für Geologische

Wissenschaften/Planetologie

Malteserstr. 74–100, D-12249 Berlin

e-mail: gneukum@zedat.fu-berlin.de

Manuskript eingereicht: Juni 2005

Angenommen: Juli 2005



## Bündelausgleichung von HRSC-Bilddaten mit Mars Observer Laser Altimeter-Daten als Passinformation

MICHAEL SPIEGEL, UWE STILLA, München, BERND GIESE, Berlin, GERHARD NEUKUM und das HRSC Co-Investigator Team

**Keywords:** photogrammetry, extra-terrestrial, three-line sensor orientation, bundle adjustment, DTM

**Zusammenfassung:** Dieser Beitrag beschreibt einen Ansatz zur Verbesserung der Parameter der äußeren Orientierung für die *High Resolution Stereo Camera* (HRSC), die sich an Bord der europäischen Mission Mars Express befindet. Eine Herausforderung bei der photogrammetrischen Auswertung der Marsbilder ist die geringe Anzahl an vorhandenen Passpunkten, welche in den Bildern auf einfachem Weg identifiziert und gemessen werden können. Deshalb werden *Mars Observer Laser Altimeter* (MOLA)-Daten als Passinformation in Form von Passflächen in der Bündelausgleichung mit HRSC Bildern verwendet. Die Ergebnisse zeigen, dass der Ansatz operationell auf alle HRSC-Szenen anwendbar ist.

**Summary:** *Bundle adjustment of HRSC image data using Mars Observer Laser Altimeter data as control information.* This paper presents an approach to improve the exterior orientation parameters of the High Resolution Stereo Camera (HRSC) mounted on European Mars Express Mission. A challenge of photogrammetric processing of Mars imagery is the low number of Ground Control Points which can be identified and measured in the images in the usual way. Therefore, *Mars Observer Laser Altimeter* (MOLA) data is employed as control information in the bundle adjustment of HRSC images. The concept for the photogrammetric point determination with the principle of three-line camera is described and results will be given. The results show the operational use to all HRSC scenes.

---

### 1 Einleitung

Die ESA Mission Mars Express mit der *High Resolution Stereo Camera* (HRSC) an Bord befindet sich seit Anfang Januar 2004 im Orbit des Planeten Mars und nimmt seither Bilder der Planetenoberfläche auf. Die HRSC ist eine Zeilenkamera bestehend aus neun CCD Zeilensensoren zur gleichzeitigen Aufnahme von hoch aufgelösten Stereo- und Farbbilddaten. Im Allgemeinen erstreckt sich eine Szene über eine Länge von 300 bis 4000 km und überdeckt im Perizentrum eine Breite von 60 km quer zur Flugrichtung mit einer Bodenauflösung von 12,5 m. Zusätzlich wird die 3D-Position des Orbiters durch Dopplermessungen bestimmt

und die sich an Bord befindliche Sterne- kamera liefert die Neigungskomponenten (Lagedaten) des Orbiters. Diese beobachteten Positions- und Lagedaten (äußere Orientierung) sind aber für eine optimale photogrammetrische Punktbestimmung nicht genau genug, so dass es notwendig ist, zuerst mit einem automatischen Bildzuordnungsverfahren homologe Punkte aus den Bildern zu extrahieren. Als Verfahren kommen hier das so genannte *Feature Based Matching* und das *Multi Image Least Squares Matching* zum Einsatz (SCHMIDT et al. 2005).

Die Aufgabe an der Technischen Universität München ist es, mithilfe der homologen Bildpunkte die äußere Orientierung der HRSC unter Verwendung von zusätzlicher

Passinformation zu verbessern. Dieses Verfahren wird in den nächsten Kapiteln näher beschrieben. Mithilfe der verbesserten äußeren Orientierungen werden nun Digitale Geländemodelle (DGMs) und Orthophotos erstellt (GWINNER et al. 2005). Auch kann das DGM nochmals verbessert werden, indem es mit dem bereits vorhanden MOLA-DGM kombiniert wird (ATTWENGER et al. 2005), und schließlich werden aufbauend auf den DGMs und den Orthophotos verschiedene Karten und Visualisierungen hergestellt (LEHMANN et al. 2005).

Von den bisher prozessierten 312 HRSC-Szenen können 228 Szenen photogrammetrisch ausgewertet werden. Die anderen 84 HRSC-Szenen sind für eine photogrammetrische Punktbestimmung mit dem vorgestellten Verfahren nicht geeignet. Gründe sind Schrägsichten (Limb-Aufnahmen), Aufnahmefehler, große oder zu viele Lücken in den Daten, zu kurze HRSC-Szenen sowie aufgenommene Gebiete mit schwacher Textur.

## 2 Konzept der Bündelausgleichung

In der Standardphotogrammetrie werden im Allgemeinen homologe Bildkoordinaten der Verknüpfungspunkte, innere Orientierung und Passpunkte für die Bestimmung der Parameter der äußeren Orientierung benötigt, wenn, wie am Mars, keine direkte Beobachtung der äußeren Orientierung mit GPS/INS möglich ist. Auch sind am Mars nur wenige Passpunkte vorhanden, die zudem in nur unzureichender Genauigkeit gegeben sind. Demnach ist zusätzliche Passinformation notwendig, um die durch die photogrammetrische Punktbestimmung abgeleiteten Objektpunkte in ein vorhandenes Referenzsystem einzupassen. Hierfür gibt es aus der Mars Global Surveyor Mission eine Vielzahl von MOLA Messungen, die als Passinformation heran gezogen werden können. Das Problem liegt allerdings darin, dass die Laserpunkte nicht auf herkömmliche Art in den Bildern identifiziert werden können, d. h. Bildkoordinaten der meisten Punkte können nicht gemessen und somit nicht als normale Passpunkte in die Bündel-

ausgleichung eingeführt werden. Der Ansatz verwendet daher als Kontrollinformation Passflächen, die aus den MOLA-Punkten abgeleitet werden.

### 2.1 Mathematisches Modell der Bündelausgleichung

In der Bündelausgleichung wird ein Konzept verwendet (HOFMANN 1982), welches sich auf so genannte Orientierungsbilder stützt. Dieser Ansatz schätzt die Parameter der äußeren Orientierung an nur wenigen ausgewählten Bildzeilen, den so genannten Orientierungsbildern. Die Werte der äußeren Orientierung der dazwischen liegenden Zeilen werden anhand der Orientierungsbilder interpoliert.

Das mathematische Modell für die photogrammetrische Punktbestimmung mittels einer Dreizeilenkamera basiert auf den bekannten Kollinearitätsgleichungen. Diese Gleichungen beschreiben die grundlegenden geometrischen Bedingungen, dass sich die Strahlen durch die drei korrespondierenden Bildpunkte und das korrespondierende Projektionszentrum im Objektpunkt schneiden. Für jede Bildkoordinate werden je zwei Kollinearitätsgleichungen (Gleichung 1) eingeführt. Für jeden Objektpunkt gibt es mehrere Bestimmungsgleichungen, da korrespondierende Bildpunkte in Bildern verschiedener Sensorzeilen gefunden werden.

$$\hat{x}_i = \frac{\hat{r}_{11}(\hat{X}_i - \hat{X}_0) + \hat{r}_{21}(\hat{Y}_i - \hat{Y}_0) + \hat{r}_{31}(\hat{Z}_i - \hat{Z}_0)}{\hat{r}_{13}(\hat{X}_i - \hat{X}_0) + \hat{r}_{23}(\hat{Y}_i - \hat{Y}_0) + \hat{r}_{33}(\hat{Z}_i - \hat{Z}_0)}$$

$$\hat{y}_i = \frac{\hat{r}_{12}(\hat{X}_i - \hat{X}_0) + \hat{r}_{22}(\hat{Y}_i - \hat{Y}_0) + \hat{r}_{32}(\hat{Z}_i - \hat{Z}_0)}{\hat{r}_{13}(\hat{X}_i - \hat{X}_0) + \hat{r}_{23}(\hat{Y}_i - \hat{Y}_0) + \hat{r}_{33}(\hat{Z}_i - \hat{Z}_0)} \quad (1)$$

mit

- $\hat{x}_i, \hat{y}_i$ : Bildkoordinaten des Punkts
- $c$ : Kammerkonstante
- $\hat{X}_i, \hat{Y}_i, \hat{Z}_i$ : Koordinaten des Objektpunkts
- $\hat{X}_0, \hat{Y}_0, \hat{Z}_0$ : Projektionszentrum
- $\hat{r}_{11}, \dots, \hat{r}_{33}$ : Rotationsmatrix

Die Kollinearitätsgleichungen liegen nicht linear vor und müssen deshalb durch eine



Taylorentwicklung linearisiert werden. Alle Beobachtungen (Bildkoordinaten aus dem Matching) werden in der Kleinste-Quadrate-Ausgleichung zur Schätzung der Unbekannten (Parameter der äußeren Orientierung an wenigen Orientierungspunkten, Koordinaten der Objektpunkte) verwendet.

## 2.2 Bündelausgleichung mit Passinformation

Das von der NASA veröffentlichte gitterbasierte MOLA-DGM (NEUMANN et al. 2003), das aus Originallasermessungen abgeleitet wurde, wird derzeit als gültiges Referenzsystem am Mars angesehen. Es beschreibt die Oberfläche des Mars global und hat eine Lagegenauigkeit von 200 m und eine Höhegenauigkeit von 10 m (abhängig von der Rauigkeit des Geländes). Lokal kann die durch vier MOLA-Gitterpunkte beschriebene Marsoberfläche als Passfläche aufgefasst werden, auf der die HRSC-Objektpunkte zu liegen kommen sollen (SPIEGEL et al. 2003).

Nachteilig bei diesem Ansatz ist, dass nicht die Originallasermessungen, sondern nur die interpolierten DGM-Punkte verwendet werden. Der Vorteil bei der Nutzung der Gitterpunkte liegt wegen der regelmäßigen Struktur in einem reduzierten Aufwand bei der Suche nach passenden benachbarten MOLA DGM Punkten.

Der Ansatz nutzt die Kleinste-Quadrate-Ausgleichung mit zusätzlichen Bedingun-

gen, um eine Beziehung zwischen dem MOLA-DGM und den HRSC-Punkten herzustellen. Die HRSC-Punkte sollen auf einer bilinearen Oberfläche ( $O_M$ ) liegen, die durch vier benachbarte MOLA-DGM-Punkte (M), welche den HRSC-Punkt umschließen, definiert ist. Diese Bedingung kann durch einen Zwang formuliert werden, dass die vertikale Distanz ( $d$ ) zwischen HRSC-Punkt (H) und der Oberfläche ( $O_M$ ) Null sein soll. Des Weiteren kann dieser Zwang durch eine fiktive Beobachtung ersetzt werden, die als zusätzliche Beobachtung in die Ausgleichung eingeht.

Das mathematische Modell für die zusätzlichen Beobachtungsgleichungen ist in Gleichung 2 gegeben. Für jede Gleichung ergeben sich drei Unbekannte ( $\hat{X}_H, \hat{Y}_H, \hat{Z}_H$ ). Sie beinhaltet eine Beobachtung  $d = 0$  und zwölf Konstante ( $X_{M_i}, Y_{M_i}, Z_{M_i}, i = 1 \dots 4$ ). Die Standardabweichung  $\sigma_d$  wird durch die Genauigkeit der vier umliegenden MOLA-DGM-Punkte festgelegt. Damit ist die Implementierung in die Kleinste-Quadrate-Ausgleichung möglich.

$$\hat{v}_d + d = f(\hat{X}_H, \hat{Y}_H, \hat{Z}_H, X_{M_i}, Y_{M_i}, Z_{M_i}) \quad (2)$$

Mit diesem Ansatz kann eine Verbesserung der Höhe (Z) erreicht werden. Eine Verbesserung in der Lage (X, Y) kann ebenfalls ermittelt werden, wenn das Gelände in verschiedenen Richtungen genügend starke Neigungen in der jeweils genutzten bilinearen Oberfläche ( $O_M$ ) des MOLA-DGM aufweist. Abb. 1a zeigt die Situation vor der Ausgleichung. Während der Ausgleichung wird der Abstand ( $d$ ) zwischen den HRSC-Punkten (H) und dem MOLA-DGM ( $O_M$ ) minimiert (Abb. 1b), was durch Verschiebungen sowohl in Z als auch in X und Y vorstatten geht. Abb. 1c zeigt das endgültige Ergebnis nach der Ausgleichung.

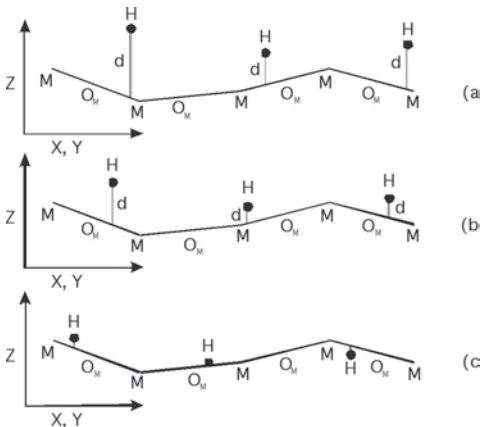
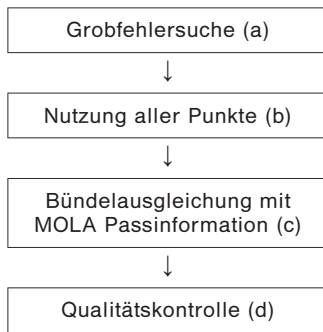


Abb. 1: MOLA als Passinformation.

## 3 Auswertestrategie

Die Auswertung einer HRSC-Szene gliedert sich in mehrere Schritte mit unabhängigen Ausgleichungen (Abb. 2). Diese Schritte beinhalten eine einfache Grobfehlersuche unter Nutzung weniger Punkte (a), unter Nutz-



**Abb. 2:** Auswertestrategie.

ung aller vorhandenen Punkte (b) und eine Bündelausgleichung unter Verwendung des MOLA-DGM als Passinformation, um die äußeren Orientierung zu verbessern (c). Die nach der Ausgleichung durchgeführte Qualitätskontrolle (d) beschließt den Auswertevorgang.

### 3.1 Grobfehlersuche

Bei der einfachen Grobfehlersuche werden unter Nutzung der Strahlengeometrie die beiden Drehwinkel  $\varphi$  und  $\kappa$  der HRSC verbessert, um grobe Fehler in den Bildkoordinaten zu identifizieren und zu eliminieren. Das DGM wird für diesen Schritt nicht eingeführt.

Im Fall von Mars Express bewegt sich die Kamera auf einer Satellitenbahn. Daher kann der Bahnverlauf als stabil betrachtet werden. Es wird außerdem unterstellt, dass der Teil des Bahnbogens, in dem HRSC-Szenen aufgenommen werden, in erster Näherung einer relativ geraden Flugbahn entspricht. Liegen diese beiden Bedingungen vor, so kann allein durch Strahlenschnitte mit der Bündelausgleichung ein Bias der Drehwinkel  $\varphi$  und  $\kappa$  der HRSC aus der Strahlengeometrie bestimmt werden. Die Grobfehlersuche ist erforderlich, da die automatisch gemachten Bildkoordinaten in der Regel nicht fehlerfrei sind.

Um grobe Fehler zu eliminieren, werden im ersten Schritt nur Objektpunkte verwendet, die aus Strahlenbündel mit mindestens drei Bildkoordinatenpaaren gebildet werden. Der Vorteil liegt darin, dass wegen der

höheren Redundanz grobe Fehler einzelner Strahlen leichter detektiert werden können. Diese Maßnahme ist außerdem notwendig, da in Strahlenbündeln, die sich nur aus zwei Strahlen zusammensetzen, Höhenfehler auftreten können, die mithilfe der Strahlenschnitte selbst überhaupt nicht detektiert werden können. Im Normalfall sollte die Nutzung von Drei- und Mehrstrahlpunkten kein Problem darstellen, da in allen HRSC-Szenen mindestens drei Bilder vorhanden sind. Das Ergebnis ist ein Bias (Offset) der Drehwinkel  $\varphi$  und  $\kappa$  der äußeren Orientierung der HRSC und Bildkoordinaten, die keine groben Fehler enthalten.

### 3.2 Nutzung von allen fehlerfreien Punkten

Für die im obigen Schritt beschriebene Verbesserung der Drehwinkel  $\varphi$  und  $\kappa$  ist es nicht erforderlich, alle verfügbaren Punkte zu verwenden. Wird aber im folgenden Schritt eine gemeinsame Ausgleichung unter Verwendung des MOLA DGM als Passinformation genutzt, ist es sinnvoll, möglichst viele Objektpunkte in die Ausgleichung einzubringen. Als zusätzliche Objektpunkte dienen die bisher nicht verwendeten Zweistrahlpunkte. Um diese auf Schnittgenauigkeit verifizieren zu können, werden die in obigem Abschnitt gewonnenen Parameter der äußeren Orientierung (aus Drei- und Mehrstrahlpunkten) herangezogen, um Vorwärtsschnitte zu bilden. Nun werden aus den Zweistrahlpunkten diejenigen eliminiert, deren Bildkoordinatenverbesserungen einen vorgegebenen Schwellwert überschreiten. In diesem Schritt können jedoch grobe Fehler in Zweistrahlpunkten nicht detektiert werden, in denen sich die Fehler nicht auf den Strahlenschnitt auswirken, sondern nur die Höhekomponente (Z) verfälschen.

### 3.3 Verbesserung der äußeren Orientierung mit DGM als Passinformation

In diesem Schritt wird die HRSC-Objektpunktewolke an das MOLA-DGM angepasst und Objektpunkte entfernt, die nicht

auf das DGM passen. Für die Anpassung ist es möglich und notwendig, noch mehr Parameter zu bestimmen. Dies sind zusätzlich zu den beiden Drehwinkeln  $\varphi$  und  $\kappa$  nun noch der Drehwinkel  $\omega$  und die Position  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , für die wieder ein Bias bestimmt wird.

Dass HRSC-Punkte nicht auf das DGM passen, kann verschiedene Ursachen haben. Zum einen kann es sich um fehlerhafte Punkte handeln, die bei den vorhergehenden Schritten nicht eliminiert wurden, weil sich ein grober Fehler nicht in der Verbesserung der Bildkoordinaten zeigt und somit der Fehler nur in die Höhenkomponente eingeflossen ist. Zum anderen können die HRSC-Punkte feine Strukturen der Marsoberfläche beschreiben, die im MOLA-DGM wegen dessen gröberer Auflösung nicht vorhanden sind, so dass einige Punkte nicht auf der Oberfläche des DGMs zu liegen kommen. Zeigt das Ergebnis nach der Ausgleichung bei einigen Punkten große Differenzen zwischen MOLA-DGM und HRSC-Punkten, so werden diese Punkte entfernt, und es wird eine neue Ausgleichung gerechnet. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis alle Punkte nur noch kleine Differenzen zum MOLA-DGM aufweisen. Das Ergebnis ist nun eine auf das MOLA-DGM angepasste äußere Orientierung.

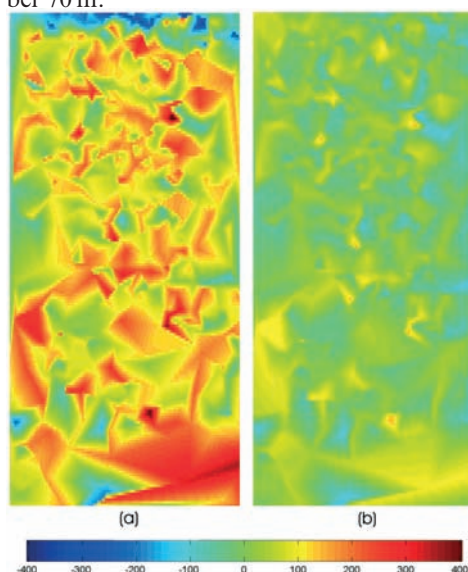
### 3.4 Qualitätskontrolle

Nach den Ausgleichungsschritten wird für jede HRSC-Szene eine Qualitätskontrolle durchgeführt. Die Kriterien für eine Anpassung der äußeren Orientierung werden durch den Bias festgelegt. So dürfen die folgenden Schwellwerte  $X < 100$  m,  $Y < 100$  m,  $Z < 20$  m,  $\varphi < 2$  mgon,  $\omega < 10$  mgon,  $\kappa < 2$  mgon der theoretischen Standardabweichungen des Bias nicht überschritten werden. Die Schwellwerte selbst ergeben sich aus dem DGM-Ansatz und der Aufnahmegeometrie. Werden diese Qualitätskriterien nur für  $\varphi$  und  $\omega$  erreicht, so wird die HRSC-Szene als teilweise erfolgreich orientiert klassifiziert. Werden auch diese Qualitätskriterien nicht erreicht, so ist eine Ausgleichung mit den vom Matching gelieferten Punkten nicht möglich.

## 4 Ergebnisse

Nach erfolgter Qualitätskontrolle konnten von den 228 ausgewerteten HRSC-Szenen 192 als erfolgreich an das MOLA-DGM angepasst klassifiziert werden, was 84% entspricht. Bei 12% konnte zwar eine Verbesserung der Genauigkeit der Drehwinkel  $\varphi$  und  $\kappa$  vorgenommen werden, allerdings ist eine Anpassung an das DGM nicht möglich. Bei weiteren 7% wurden entweder vom Matching Bildkoordinaten mit zu vielen groben Fehlern oder zu wenige Bildkoordinaten geliefert, was eine erfolgreiche Bündelausgleichung unmöglich macht. Für die erfolgreich prozessierten 192 HRSC Szenen sinkt die Standardabweichung der Position der äußeren Orientierung von 1000 m im Durchschnitt auf 30 m. Die Genauigkeit der Drehwinkel liegt nach der Ausgleichung bei 1–2 mgon.

Schließlich zeigt Abb. 3 die Differenzen in  $Z$  zwischen den Objektkoordinaten der HRSC-Punkte und dem MOLA-DGM vor der Ausgleichung (Abb. 3a) und die Restdifferenzen nach der Anpassung ans DGM (Abb. 3b). Der RMS der Differenzen liegt in diesem Beispiel vor der Ausgleichung bei 200 m und nach der Ausgleichung nur noch bei 70 m.



**Abb. 3:** Höhendifferenzen vor (a) und nach (b) der Ausgleichung.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem vorgestellten Verfahren die Verbesserung der äußeren Orientierung von fast allen HRSC-Szenen operationell möglich ist. Die äußere Orientierung wurde so verbessert, dass die Daten an das globale, durch MOLA repräsentierte Mars-Referenzsystem, angepasst sind.

Die in der Luftbildphotogrammetrie üblichen Bedingungen um Blockverbände zu bilden, sind auf dem Mars im Allgemeinen wegen der Satellitenkonfiguration nicht gegeben. Allerdings können Blöcke mit parallel aufgenommenen HRSC-Szenen gebildet werden. Erste Tests für die Ausgleichung von Blöcken (3–7 HRSC Szenen) zeigen, dass diese Ausgleichung erwartungsgemäß noch eine weitere Verbesserung der Ergebnisse bringt. Das Hauptaugenmerk bei den weiteren Untersuchungen liegt daher auf der Auswertung von Blöcken. Des Weiteren sollen die in dieser Ausgleichung verwendeten Parameter der inneren Orientierung (z. B. Kamerakonstante, Bildhauptpunktverschiebungen, Konvergenzwinkel) auf ihre Stabilität hin überprüft und die Verbesserung einzelner Parameter untersucht werden.

## Danksagung

Diese Arbeit wird durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) unter dem Förderkennzeichen 50 QM 0103 mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

## Literaturverzeichnis

ATTWENGER, M. et al., 2005: Klassifikation von HRSC-Objektpunkten zur Generierung hochwertiger Geländemodelle der Marsoberfläche. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2005** (5): 395–402.

GWINNER, K. et al., 2005: Hoch auflösende Digitale Geländemodelle auf der Grundlage von Mars Express HRSC-Daten. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2005** (5): 387–394.

LEHMANN, H. et. al., 2005: Großmaßstäbige topographische und thematische Mars-Karten. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2005** (5) 423–428.

HOFMANN, O., NAVÉ, P. & EBNER, H., 1982: DPS – A digital photogrammetric system for producing digital elevation models and orthophotos by means of linear array scanner imagery. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 24-III: 216–227

NEUMANN, G. A., LEMOINE, F. G., SMITH, D. E. & ZUBER, M. T., 2003: The Mars Orbiter Laser Altimeter archive: Final precision experiment data record release and status of radiometry. – Lunar and Planetary Science XXXIV, Abstract 1778, Lunar and Planetary Institute, Houston.

SCHMIDT, R. et al., 2005: Automatische Bestimmung von Verknüpfungspunkten in HRSC-Bildern der Mars Express Mission. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2005** (5): 373–380.

SPIEGEL, M., BAUMGARTNER A. & EBNER H., 2003: Orientation of Mars Express/HRSC Imagery Using Laser Altimeter Data as Control Information. – ISPRS Workshop High Resolution Mapping from Space 2003, Hannover.

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. MICHAEL SPIEGEL  
Prof. Dr.-Ing. UWE STILLA  
Photogrammetrie und Fernerkundung  
Technische Universität München  
Arcisstr. 21, D-80333 München  
e-mail: (spiegel, stilla)@bv.tu-muenchen.de

Dr. BERND GIESE  
Institut für Planetenforschung  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Rutherfordstr. 2, D-12489 Berlin  
e-mail: bernd.giese@dlr.de

Prof. Dr. GERHARD NEUKUM  
Freie Universität Berlin, Institut für Geologische Wissenschaften/Planetologie  
Malteserstr. 74–100, D-12249 Berlin  
e-mail: gneukum@zedat.fu-berlin.de

Manuskript eingereicht: Juni 2005  
Angenommen: Juli 2005

## Hochauflösende Digitale Geländemodelle auf der Grundlage von Mars Express HRSC-Daten

KLAUS GWINNER, FRANK SCHOLTEN, BERND GIESE, JÜRGEN OBERST,  
RALF JAUMANN, Berlin; MICHAEL SPIEGEL, München; RALPH SCHMIDT, Hannover;  
GERHARD NEUKUM und das HRSC-Co-Investigator Team

**Keywords:** photogrammetry, multi-line-scanner, Mars Express, HRSC, adaptive filtering, high-resolution DTM, quality assessment

**Zusammenfassung:** Die Oberflächenrekonstruktion aus HRSC-Stereodaten unterliegt veränderlichen Einflussfaktoren, die mit Eigenschaften des Aufnahmesystems, der Marsatmosphäre sowie der Marsoberfläche selbst verknüpft sind. Adaptive Verarbeitungskomponenten und zuverlässige Qualitätsparameter für die Kontrolle der Datenauswertung erscheinen daher als wichtige Hilfsmittel für die Ableitung hochauflösender Geländemodelle. Hierzu werden Testreihen ausgewertet, die auch die Erprobung eines adaptiven Verfahrens zur Bildvorverarbeitung einschließen. Die Ergebnisse werden anhand von verarbeitungsinernen Qualitätsparametern analysiert und mit externen Höhendaten verglichen. Sie zeigen, dass Punktgenauigkeiten im Subpixel-Bereich und DGM-Auflösungen von bis zu 50 m für große Bereiche der Marsoberfläche mit vertretbarem Aufwand erzielbar sind.

**Summary:** *High-resolution Digital Terrain Models based on Mars Express HRSC data.* Surface reconstruction from HRSC stereo imagery is subject to a variety of variable properties related to the atmosphere and surface of Mars as well as to the imaging system. Adaptive processing and the use of efficient quality parameters for controlling data analysis are considered to be key issues for the derivation of Digital Terrain Models. Concerning this, we analyse test series that include an experimental method for signal adaptive image pre-processing. The results are assessed based on internal quality parameters of the processing chain and compared to external terrain data. They show that subpixel-scale point accuracy and DTM resolution of up to 50 m can be achieved for large parts of the surface of Mars within reasonable effort.

### 1 Einleitung

Die Ableitung von Digitalen Geländemodellen (DGM) aus Stereobilddaten der *High Resolution Stereo Camera* (HRSC) auf Mars Express (NEUKUM et al. 2004) unterliegt einer Vielzahl von veränderlichen Einflussfaktoren, die mit Eigenschaften der Oberfläche des Planeten und seiner Atmosphäre sowie mit den technischen Merkmalen des Aufnahmesystems verknüpft sind. So wirken sich z. B. Kontrastverluste durch örtliche Zunahme der optischen Dicke der Atmosphäre unmittelbar auf die Kompres-

sionseigenschaften der Bilddaten aus. Darüber hinaus liegen unterschiedliche Qualitäten der Daten zur äußeren Orientierung vor sowie eine beträchtliche Variationsbreite der nominellen Bodenauflösung.

Infolge dessen erscheint für die Erstellung hoch auflösender Geländemodelle mit standardisierten Qualitätsmerkmalen die Verwendung adaptiver Verarbeitungskomponenten sinnvoll. Daneben kommt der Definition von geeigneten Qualitätsparametern zur Steuerung automatischer Verarbeitungsabläufe und für die Produktkontrolle große Bedeutung zu. Vor diesem Hintergrund



durchgeführte Untersuchungen anhand von Testreihen zu unterschiedlichen Verarbeitungsvarianten dienen neben der Definition optimierter Verarbeitungsprozeduren auch einer eingehenderen Beurteilung der Potenziale, die HRSC für die Ableitung hochauflösender DGM der Marsoberfläche bietet.

Im Zentrum des Interesses steht hierbei die innere Genauigkeit der Modelle, die sich in erster Linie aus der räumlichen Dichte und relativen Genauigkeit der abgeleiteten Objektpunkte ergibt und z. B. Vollständigkeit, Detailreichtum und morphologische Formtreue der Oberflächenbeschreibung betrifft. Aspekte der Absolutgenauigkeit in Bezug auf ein geodätisches Referenzsystem werden z. B. von SPIEGEL et al. (2005) behandelt. Die Ergebnisse werden anhand von verarbeitungsinternen Qualitätsparametern und durch Vergleich mit existierenden topographischen Daten des *Mars Orbiter Laser Altimeter* (MOLA) Experiments (SMITH et al. 2003) beurteilt.

## 2 Zur geometrischen und radiometrischen Auflösung der Bilddaten

Bereits vor Missionsstart konnten die Potentiale von HRSC Stereobilddaten für die Oberflächenrekonstruktion anhand von flugzeuggestützten Experimenten unter Verwendung des HRSC-Qualifikationsmodells demonstriert werden, wobei auch Zielgebiete mit starkem Relief und regolithartigen Oberflächen bearbeitet wurden (GWINNER et al. 2000). Jedoch erfolgt die Aufnahme der Marsoberfläche unter Rahmenbedingungen, die eine teilweise Einschränkung der nominellen radiometrischen und geometrischen Auflösung bewirken. Beispielsweise führt die im Einzelnen nicht vorhersehbare kontrastreduzierende Wirkung der Atmosphäre nicht selten zu starker Einschränkung des lokalen Grauwertumfangs.

Die geometrische Auflösung der Bilddaten (max.  $\sim 11$  m/Pixel) hängt von der momentanen Höhe der elliptischen Umlaufbahn und der Verwendung von Makropixelformaten ab und wird außerdem durch die Kompression der Bilddaten beeinflusst. Die Kompressionsrate weist eine laterale Varia-

bilität auf, die unter den Bedingungen streng limitierter Datenraten eine gezielte Erfassung texturreicher Oberflächenbereiche mit höchster Auflösung ermöglichen soll, was umgekehrt eine stärkere Kompression für homogene Oberflächenbereiche bedeutet. Das Kompressionsverfahren basiert auf einer JPEG-Variante und ist verlustbehaftet. Als direkte qualitätsmindernde Faktoren sind Blockbildung (durch die separate Kompression nicht überlappender Bildfenster) sowie die Speicherung der Transformationsparameter mit reduzierter Genauigkeit zu nennen.

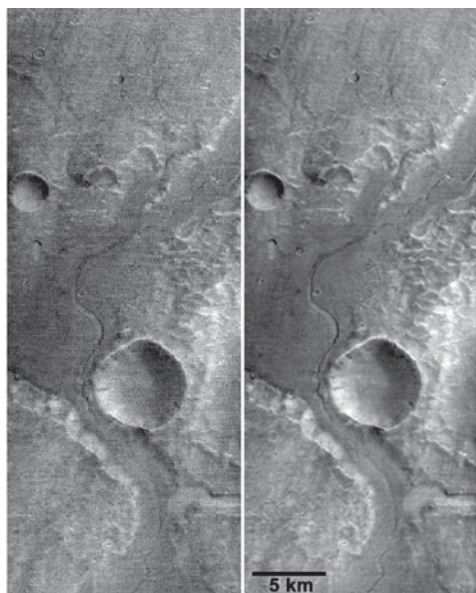
## 3 Experimentelle Bildfilterung

Zur Verbesserung von JPEG-komprimierten Bildern wurde eine Vielzahl verschiedener Verfahren vorgeschlagen (vgl. z. B. NOSRATINIA 2001). Sie reichen von einfachen Glättungsoperatoren bis hin zu rechenintensiven Verfahren, die auf eine Rekonstruktion der exakten Transformationsparameter abzielen, wobei der Nachweis der Gültigkeit verbesserter Koeffizienten im allgemeinen Fall aber Schwierigkeiten bereitet.

Das hier angewendete Konzept sieht die Existenz und implizite Berücksichtigung lokaler Variationen der effektiven Bildauflösung vor, die durch hochfrequente Störsignale überlagert werden. Diese können durch eine signaladaptive Tiefpassfilterung reduziert werden. Hauptziel ist dabei die Reduktion von durch Kompressionsartefakte bedingten Fehlzuordnungen bei der digitalen Bildkorrelation. Die Tiefpassfilterung gestattet außerdem eine radiometrisch verbesserte Erfassung der durch die Kompression weniger stark verfälschten niederfrequenten Signalanteile.

Für die experimentelle Vorverarbeitung von HRSC-Bilddaten wurde ein Gauss-Tiefpass mit adaptiver Bandbreite implementiert und als Grundlage einer eigenen Verarbeitungsvariante der Testreihen eingesetzt. Als Kriterium zur ortsabhängigen Skalierung der Filtergröße wird ein Schwellwert des lokalen Informationsgehaltes  $-\sum_j p_v \ln p_v$  mit  $p_v$  als relativer Häufigkeit des Grauwerts  $v$  in einem bis zum Unter-





**Abb. 1:** Links: Geometrisch korrigiertes Originalbild (Nadirkanal), MEX Orbit 0047. Rechts: Filterung mit adaptivem Gauss-Tiefpass.

schreiten des Schwellwerts schrittweise verkleinert den Analysefenster der Größe  $j$  verwendet. Abb. 1 zeigt ein Anwendungsbeispiel.

#### 4 Photogrammetrische Verarbeitung

Für die Ableitung von DGM aus radiometrisch korrigierten HRSC-Daten (Level-2) steht ein umfangreiches Programmsystem zur Verfügung, das u. a. Komponenten für geometrische Bildkorrektur und Kartenprojektion, Bildzuordnung, Objektpunktbeziehung sowie DGM-Berechnung beinhaltet. Es wurde, aufbauend auf Vorarbeiten an der Technischen Universität Berlin, am DLR entwickelt (SCHOLTEN et al. 2005). Zur Ableitung verbesserter Orientierungsdaten mit Hilfe der automatischen Zuordnung von Verknüpfungspunkten (SCHMIDT et al. 2005) und Bündelausgleichung unter Berücksichtigung von MOLA-Passinformation (SPIEGEL et al. 2005) werden an der Universität Hannover und der Technischen Universität München entwickelte Programme verwendet.

Das Verarbeitungsschema entspricht insgesamt dem in SCHOLTEN et al. (2005) dargestellten, jedoch finden zusätzliche experimentelle Module zur Bildfilterung Anwendung. Die geometrische Vorkorrektur der Bilder unterscheidet sich durch die zusätzliche Verwendung eines vorläufigen HRSC-DGM. Die Parameter der Standardverarbeitung wurden diesen Modifikationen entsprechend angepasst bzw. durch parametrisierte Definitionen ersetzt.

Für alle Testdatensätze wurden drei Vorverarbeitungsvarianten erzeugt, die zum einen ungefilterte Stereobildern, zum zweiten eine Filterung mit einem invarianten Gauss-Tiefpass ( $\text{FWHM} = 3.5$  Pixel), und im dritten Fall eine Filterung mit dem oben beschriebenen adaptiven Gauss-Tiefpass umfassen. Die Bildkorrelation wurde für alle Testdatensätze mit identischen Parametern durchgeführt.

Für alle Datensätze wurden driftkorrigierte Aufnahmezeiten und als Orientierungsdaten rekonstruierte Bahn- und nominelle Lagedaten verwendet. Für den überwiegenden Teil der Testdatensätze (23 Orbits) wurden als Grundlage einer zusätzlichen Verarbeitungsvariante auch durch Bündelausgleichung verbesserte Orientierungsdaten benutzt.

#### 5 Kriterien zur Qualitätsbeurteilung

Die Beurteilung der Ergebnisse erfolgt zunächst auf der Grundlage von statistischen und geometrischen Eigenschaften von Zwischenprodukten der Verarbeitung, welche die relative Höhen- und Lagegenauigkeit sowie die erzielbare DGM-Auflösung beeinflussen. Hierzu zählen die Vollständigkeit der Bildkorrelation (Prozentsatz erfolgreich zugeordneter Bildpunkte), der mittlere Objektpunktschnittfehler (aus überbestimmten Vorwärtsschnitten), die Objektpunktdichte bzw. Objektpunktakzeptanz (flächenhafte Verteilungsdichte bzw. Prozentsatz der nach bestimmten Kriterien für die DGM-Erstellung akzeptierten Objektpunkte) und schließlich die laterale Variabilität von Objektpunktdichte und Schnittfehler.

Neben diesen internen Kriterien ist durch das global verfügbare MOLA-DGM (Lagegenauigkeit ca. 200 m, Höhengenaugigkeit ca. 10 m, vgl. SMITH et al. 2003) eine unabhängige Kontrolle der Ergebnisse möglich. Eine stärker qualitativ ausgerichtete Validierungsmethode untersucht die konsistente Repräsentation bekannter Morphologiemerkmale (z. B. Kraterformen).

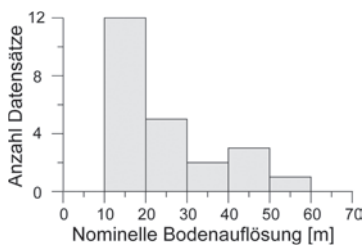
Die horizontale DGM-Auflösung ist dagegen ein zunächst rein technischer Parameter, der sich aus einer zweckmäßigen Festlegung anhand bestimmter Qualitätsparameter ergibt oder an vorgegebenen Standardwerten ausgerichtet ist.

## 6 Testdatensatz: Überblick

30 Orbits des ersten Missionsjahres (ca. 40 GB Ausgangsdaten),

- ca. 2 Mio. km<sup>2</sup>, d. h. einige wenige Prozent der innerhalb der nominellen Missionsdauer erwarteten Abdeckung,
- Geographische Breite: 50°N bis 40°S,
- Unterschiedliche Relieftypen (Grabensysteme, Flachländer, Südliches Hochland, Schildvulkane),
- >1.2 Mrd. abgeleitete Objektpunkte.

Im Hinblick auf Abhängigkeiten von der Bildauflösung wurde eine im Vergleich zum gesamten HRSC-Datenbestand große Anzahl von Datensätzen mit mittlerer bis niedriger Auflösung einbezogen (Abb. 2).



**Abb. 2:** Auflösungshistogramm für den Testdatensatz (nominelle Bodenaufklärung der Nadirbildern).

## 7 Ergebnisse

### 7.1 Vollständigkeit der Bildkorrelation

Hinsichtlich der Vollständigkeit der Bildkorrelation zeigt sich für beide Filterungsvarianten ein Anstieg der durchschnittlichen Erfolgsrate um 15–20% gegenüber der Korrelation von ungefilterten Bildern (Tab. 1). Für einzelne Datensätze wächst die Anzahl homologer Punkte um nahezu den Faktor 3 an und fällt nie signifikant unter den für ungefilterte Bilder erhaltenen Wert ab. In Einzelfällen wurde nach Filterung eine fast vollständige Zuordnung des Suchrasters möglich (>95%). Es wurde keine signifikante Abhängigkeit von der nominellen Bildauflösung beobachtet. Die Qualität der homologen Bildpunkte bleibt nun anhand der Eigenschaften der resultierenden Objektpunkte zu überprüfen.

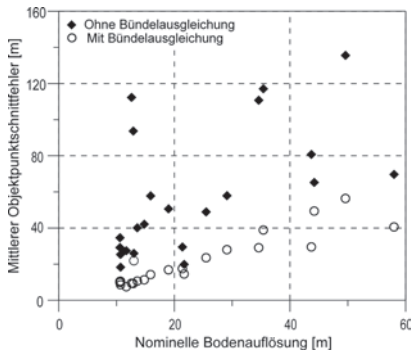
**Tab. 1:** Erfolgsrate der Bildkorrelation für den Testdatensatz (in Prozent), je Vorverarbeitungsvariante. Geometrische Vorkorrektur der Bilder auf 4-fache nominelle Nadirauflösung.

	Ohne Filterung	Invarianter Tiefpass	Adaptiver Tiefpass
Mittelw.	49,0	63,3	66,1
Min.	15,1	34,7	35,8
Max.	81,2	98,5	95,3

### 7.2 Mittlerer Objektpunkt-Schnittfehler

Abb. 3 zeigt die mittleren Schnittfehler der Objektpunkte der verschiedenen Datensätze in Abhängigkeit von der nominellen Bildauflösung des Nadirkanals. Die homologen Punkte entsprechen den in Abschnitt 7.1 beschriebenen Datensätzen in der adaptiv gefilterten Variante. Schnittfehler oberhalb eines 95%-Vertrauensintervalls führen zum Ausschluss der Objektpunkte und gehen nicht in die angegebenen mittleren Schnittfehler ein.

Mit verbesserten Orientierungsdaten zeigt sich 1) eine recht gute Korrelation zwi-



**Abb. 3:** Mittlere Schnittfehler je Datensatz in Abhängigkeit von der nominellen Bildauflösung (Nadir). A originale, B verbesserte Orientierungsdaten.

schen Auflösung und Genauigkeit, 2) die Subpixel-Genauigkeit der Bildkorrelation: nach der Korrektur globaler Fehlerkomponenten liegen die Punktgenauigkeiten im Bereich der Nadirauflösung (90% der Nadirauflösung gemäß linearer Regression), welche in der Regel etwa um den Faktor 2 besser ist als die durchschnittliche Auflösung aller Stereokanäle.

Mit wenigen Ausnahmen liegt die Genauigkeitsvariation durch unterschiedliche Vorverarbeitung im Bereich von  $\pm 10\%$ . Durchschnitts- und Extremwerte finden sich in Tab. 2.

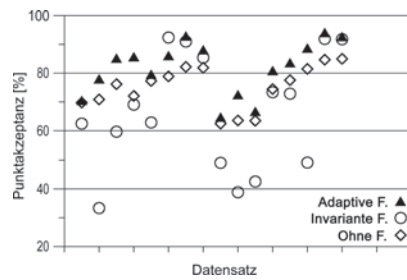
**Tab. 2:** Durchschnitts- und Extremwerte (in m) für die mittleren Schnittfehler aller Datensätze bei unterschiedlicher Vorverarbeitung.

	Ohne Filterung	Invarianter Tiefpass	Adaptiver Tiefpass
Mittelw.	21,0	23,0	20,5
Min.	8,3	7,5	7,5
Max.	57,3	58,0	56,4

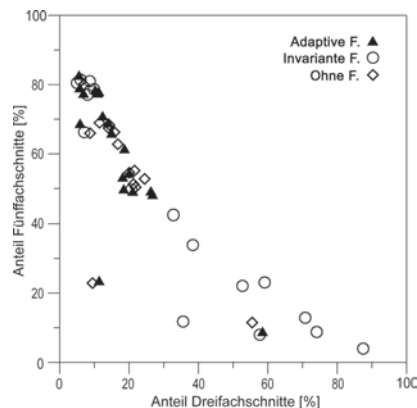
### 7.3 Objektpunktdichte

An die Akzeptanz der durch Vorwärtsschnitt bestimmten Objektpunkte für die DGM-Generierung wurden die Bedingungen einer mindestens dreifachen Simultan-

beobachtung und eines Schnittfehlers unterhalb dem 95%-Niveau der Fehlerverteilung geknüpft. Bei den resultierenden „Ausdünnungsgraden“ (Abb. 4) zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Filterungsvarianten, wobei die adaptive Filterung meist die größere Punktakzeptanz aufweist, während die Werte der invarianten Filterung stark streuen und teilweise eine Punktzurückweisung im Umfang von über 60% anzeigen. Aus Abb. 5 ist erkennbar, dass dies mit einer oft geringen Anzahl von höherwertigen Mehrfachsnitten einhergeht, während in den anderen Fällen zumeist 50–80% Fünffachsnitte vorliegen. Niedrige Anteile von Mehrfachsnitten resultieren aus erfolglosen Zuordnungsversuchen beim Matching und vermindern im allgemeinen die Zuverlässigkeit von Objektpunkten.



**Abb. 4:** Prozentsatz der akzeptierten Objektpunkte je Datensatz in den verschiedenen Vorverarbeitungsvarianten.



**Abb. 5:** Gegenüberstellung der Anteile von Dreifach- und Fünffachsnitten innerhalb der einzelnen Objektpunktwolken.

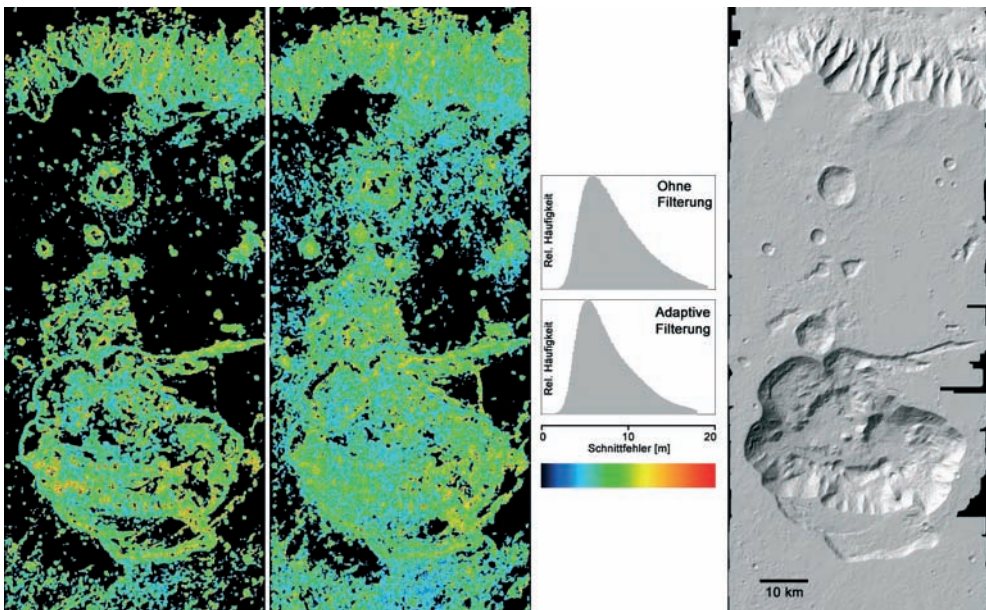
#### 7.4 Laterale Variabilität von Objektpunktdichte und Schnittfehler

Da die flächenbasierte Bildkorrelation zur Konzentration zahlreicher Punkte in stark texturierten Bildbereichen neigt, ist neben den Raten von Matching-Erfolg und Punktakzeptanz die flächenhafte Anordnung der Objektpunkte von Interesse. Diese kann an Hand von Abdeckungskarten untersucht werden, die alle Rasterzellen des DGM zeigen, die mindestens einen Objektpunkt enthalten (Abb. 6). Der Rasterzelle wird außerdem der mittlere Schnittfehler der enthaltenen Objektpunkte als Wert zugewiesen. Der Prozentsatz belegter Rasterzellen stellt als „Besetzungsgrad“ ein weiteres Maß für die Punktdichte dar, welches natürlich von der Wahl der Rasterweite abhängt. Beim Vergleich zwischen den verschiedenen Bearbeitungsvarianten, die jeweils dieselbe Rasterweite aufweisen, ergeben sich im Durchschnitt Werte von 59 % und 54 % für adaptive und invariante Filterung, sowie ein kleinerer Wert von 44 % für ungefilterte Aus-

gangsdaten. Im Einzelfall treten Zuwächse gegenüber dem ungefilterten Fall um den Faktor 1,6 (invariant) bzw. 1,8 (adaptiv) auf, d. h. durch geeignete Filterung kann sich nahezu eine Verdoppelung des Besetzungsgrades ergeben. Die laterale Variation von Besetzungsgrad und Schnittfehler ist beispielhaft in Abb. 6 für Orbit 1070 dargestellt, zusammen mit der Häufigkeitsverteilung der Schnittfehler. Dieser Datensatz weist die höchsten bisher erzielten Schnittgenauigkeiten auf. Zu beachten sind die bessere Abdeckung und die geringere Streuung der Fehlerverteilung für den Fall adaptiv gefilterter Bilddaten.

#### 7.5 Lokale Höhendifferenzen zu MOLA-Daten

Zum Vergleich mit dem MOLA-DGM werden auf adaptiver Filterung und verbesserten Orientierungsdaten beruhende DGM herangezogen. Verbleibende Lagedifferenzen (von i. d. R. wenigen HRSC-Raster-



**Abb. 6:** MEX Orbit 1070, nominelle Nadiraufösung 12 m/Pixel, DGM-Raster 50 m. Von links nach rechts: Abdeckungskarte mit farbkodiertem Schnittfehler für ungefilterte Bilddaten (schwarz: keine Punkte); dasselbe für adaptiv gefilterte Bilddaten; zugehörige Fehlerverteilungen; schattierte Ansicht (adaptive Filterung).



punkten) werden manuell korrigiert. Für die Höhenkomponente wird dann eine Offset-Korrektur vorgenommen. Größere residuale Höhendifferenzen zwischen den beiden Datensätzen (Abb. 7) sind überwiegend mit durch Interpolation geschlossenen Datenlücken (in beiden DGM) verbunden.

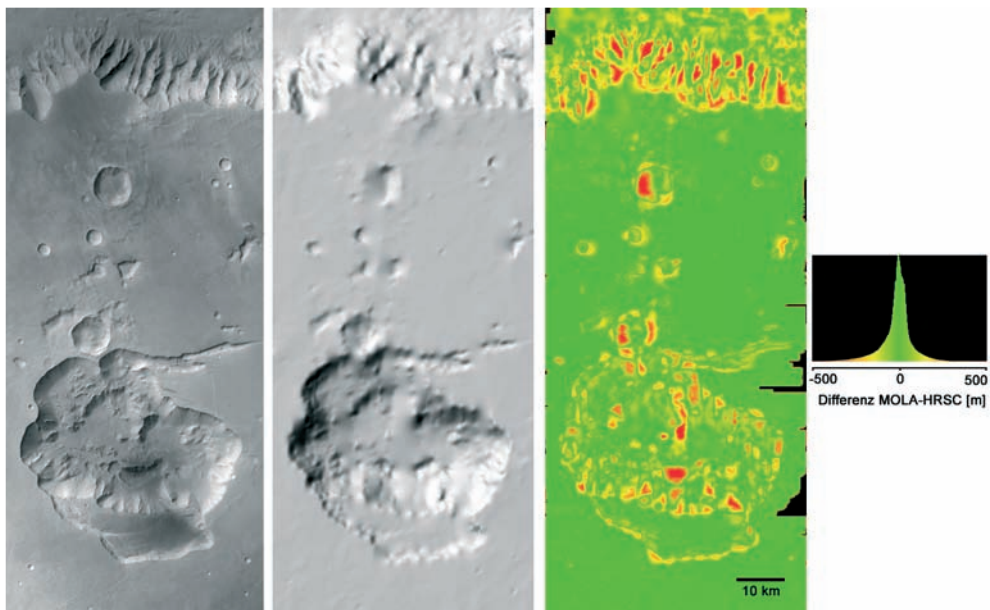
Daneben ist lokal, auch für sehr niedrig auflösende Beispiele des Testdatensatzes, eine deutlich verbesserte Detaildarstellung feststellbar (z. B. detailgetreue Repräsentation kleiner Täler und Krater).

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Für die Korrelation der HRSC-Bilder lässt sich bei Verwendung von durch Bündelausgleich verbesserten Orientierungsdaten Subpixelgenauigkeit nachweisen, wobei kein signifikanter Unterschied zwischen den verwendeten Filterungsvarianten feststellbar ist. Insgesamt bestätigen sich damit frühere Befunde zur grundsätzlichen Realisierbarkeit einer subpixelgenauen Korrelation JPEG-komprimierter Bilder (PARKES et al.

1991). Jedoch lässt sich die Hauptschwierigkeit bei der Bildzuordnung für HRSC im Erreichen einer flächenhaft und im Sinne von Mehrfachbeobachtungen möglichst vollständigen und fehlersicheren Bildzuordnung erkennen. In der überwiegenden Mehrheit der Fälle hat sich eine Vorverarbeitung der Bilddaten durch adaptive Filterung hierbei als vorteilhaft erwiesen. Sie führt zur größten Vollständigkeit der Bildzuordnung, zum höchsten Akzeptanzgrad der Objektpunkte und zum höchsten Besetzungsgrad des DGM-Rasters. Die *Ortsinvariante* Filterung erbringt im allgemeinen zwar eine gute Vollständigkeit der Bildzuordnung, führt aber häufig durch geringe Akzeptanz der Objektpunkte zu niedrigen Besetzungsgraden. Die Verwendung ungefilterter Daten führt mit deutlich geringerer Erfolgsrate beim Matching zu den kleinsten Besetzungsgraden.

Für die auf Basis der adaptiven Filterung erstellten DGM ergaben sich folgende Durchschnittswerte (und Bestwerte) für die wichtigsten internen Qualitätsmerkmale:



**Abb. 7:** Ausschnitt wie Abb. 6. Von links nach rechts: HRSC-Orthobild (Nadir); schattierte Ansicht des MOLA-DGM; Differenzbild aus HRSC- und MOLA-DGM sowie Häufigkeitsverteilung der Höhendifferenzen. Farbskala für Differenzbild entspricht Farbkodierung des Histogramms.



Vollständigkeit der Bildkorrelation (bei geometrischer Vorkorrektur auf vierfache nominelle Nadirauflösung): 66 %  
(95 %)

davon Mehrbildzuordnungen: 90 %  
(97 %)

Mittlerer Objektpunktschnittfehler (mit verbesserten Orientierungsdaten):  $\geq 7$  m,  
im Durchschnitt etwa 90 % der Nadirauflösung.

Die Erzeugung von DGM mit Auflösungen von bis zu 50 m scheint angesichts der erzielten Punktgenauigkeiten und Besetzungsgrade für große Bereiche der Marsoberfläche realisierbar zu sein.

## Dank

Die Autoren danken für die wertvolle Unterstützung durch die HRSC Teams des DLR und der FU Berlin. Besonderer Dank gilt Dr. T. ROATSCH und K.-D. MATZ von Seiten der systematischen Prozessierung von HRSC-Daten.

## Literaturverzeichnis

- GWINNER, K., HAUBER, E., JAUMANN, R. & NEUKUM, G., 2000: High-resolution, digital photogrammetric mapping: a tool for Earth science. – *Eos* 81, 44: 513–520.
- NEUKUM, G., JAUMANN, R. & HRSC Co-Investigator Team, 2004: HRSC – The High Resolution Stereo Camera of Mars Express. – ESA Special Publications, 1240.
- NOSRATINIA, A., 2001: Denoising of JPEG images by re-application of JPEG. – *Journal of VLSI Signal Processing* 27: 69–79.
- PARKES, S. M., ZEMERLY, M. J. A. & MULLER, J.-P., 1991: Image Data Compression and its Effects on Stereo Height Extraction Processing. – *Proc. IGARSS* 91: 1449–1452.
- SCHMIDT, R. et al., 2005: Automatische Bestimmung von Verknüpfungspunkten in HRSC-Bildern der Mars Express Mission. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* 2005 (5): 373–379.
- SCHOLTEN, F., GWINNER, K., ROATSCH, T., MATZ, K.-D., WÄHLISCH, M., GIESE, B., OBERST, J., JAUMANN, R., NEUKUM, G. & HRSC CoI-Team, 2005: Mars Express HRSC Data Processing. – *Photogrammetric Eng. & Remote Sensing* (im Druck).
- SMITH, D., NEUMANN, G., ARVIDSON, R. E., GUINNESS, E. A. & SLAVNEY, S., 2003: Mars Global Surveyor Laser Altimeter Mission Experiment Gridded Data Record. – NASA Planetary Data System, MGS-M-MOLA-5-MEGDR-L3-V1.0.
- SPIEGEL, M. et al., 2005: Bündelausgleichung von HRSC-Bilddaten mit Mars Observer Laser Altimeter-Daten als Passinformation. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* 2005 (5): 381–386.

## Anschriften der Autoren:

M.A. Dipl.-Geol. KLAUS GWINNER

Dipl.-Ing. FRANK SCHOLTEN

Dr. BERND GIESE

Dr. JÜRGEN OBERST

Dr. RALF JAUMANN

Institut für Planetenforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

D-12489 Berlin

Tel.: +49-30-67055-310 (K. GWINNER)

Fax: +49-30-67055-402

e-mail: Klaus.Gwinner@dlr.de

Dipl.-Ing. MICHAEL SPIEGEL

Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität München, D-80333 München

Tel.: +49-89-289-22688

Fax: +49-89-2809573

e-mail: spiegel@bv.tu-muenchen.de

Dipl.-Ing. RALPH SCHMIDT

Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Universität Hannover, D-30167 Hannover

Tel.: +49-511-762-2484

Fax: +49-511-762-2483

e-mail: schmidt@ipi.uni-hannover.de

Prof. Dr. GERHARD NEUKUM

Freie Universität Berlin, Institut für Geologische Wissenschaften/Planetologie

Maltesserstraße 74–100, D-12249 Berlin

e-mail: gneukum@zedat.fu-berlin.de

Manuskript eingereicht: Juni 2005

Angenommen: Juli 2005

## Klassifikation von HRSC-Objektpunkten zur Generierung hochwertiger Geländemodelle der Marsoberfläche

MARIA ATTWENGER, Wien, GERHARD NEUKUM und das HRSC Co-Investigator Team

**Keywords:** photogrammetry, high resolution stereo camera, digital terrain model, linear prediction, point classification method, Mars

**Zusammenfassung:** Hochwertige digitale Geländemodelle (DGMs) sind eine Grundlage zur geologischen Analyse der Entwicklung und des Aufbaus der Marsoberfläche. Die Photos der *High Resolution Stereo Camera* (HRSC) an Bord der Raumsonde Mars Express ermöglichen die Gewinnung von Stereo-Information vom Mars. HRSC-Objektpunkte, die durch flächenbasiertes Matching abgeleitet werden, sind durch grobe Fehler und aufgrund von fehlender beziehungsweise schlechter Textur teilweise durch Datenlöcher beeinträchtigt. Diese Mängel beeinflussen die DGM-Qualität. In diesem Artikel werden zwei iterativ anwendbare Punktklassifikationsmethoden beschrieben. Die erste Methode kann verwendet werden, um grobe Fehler zu reduzieren. Die zweite Methode ermöglicht die Überbrückung von Datenlöchern anhand von Daten des *Mars Orbiter Laser Altimeter* (MOLA) der Mission *Mars Global Surveyor*. Die Zusammenführung beider Methoden ermöglicht eine effiziente Bearbeitung. Die Ergebnisse der Punktklassifikationsmethoden können als Grundlage für die Ableitung hochwertiger DGMs verwendet werden.

**Summary:** *Classification of HRSC object points for the derivation of high quality terrain models.* High quality digital terrain models (DTMs) are the basis for geological analysis of the formation and structure of the Martian terrain. The High Resolution Stereo Camera (HRSC) mounted on the spacecraft Mars Express provides the opportunity to obtain stereo information from its images of Mars. HRSC object points are derived by area based matching. The DTM derivation from HRSC object points is influenced by two deficiencies: 1) Gross errors, 2) Data gaps due to the partial missing and poor texture respectively. This paper describes two iteratively applied point classification methods. The first method reduces gross errors. The second method enables the bridging of data gaps on the basis of Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA) data provided by the mission Mars Global Surveyor. Efficient processing can be achieved by combining both methods. The results of the point classification methods are usable as basis for the derivation of high quality DTMs.

---

### 1 Einleitung

Im Rahmen des Projekts „*HRSC on Mars Express*“ werden zur geometrischen Bestimmung von Oberflächenpunkten des Mars photogrammetrische Auswertungen in Form von flächenbasiertem Matching durchgeführt (SCHOLTEN et al. 2005a). Die anhand dieser Methode gewonnenen Daten

weisen allerdings grob fehlerhafte Objektpunkte und Datenlöcher auf, welche die Berechnung von digitalen Geländemodellen (DGMs) und in weiterer Folge auch von Orthophotos negativ beeinflussen.

Um hoch auflösende DGMs in guter Qualität erstellen zu können, wurde eine Punktklassifikationsmethode entwickelt, die von einem stark ausgedünnten Modell ausgeht

und unter der zusätzlichen Verwendung von Messungen des *Mars Orbiter Laser Altimeter* (MOLA) der *National Aeronautics and Space Administration* (NASA)-Mission *Mars Global Surveyor* (MGS) schrittweise Details hinzufügt und fehlerhafte Objektpunkte eliminiert.

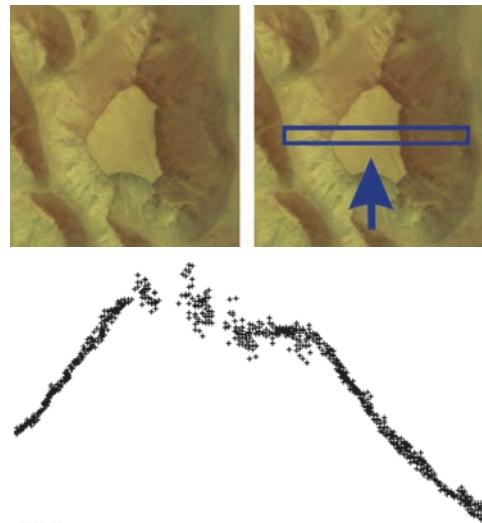
Die Grundlage der folgenden Berechnungen und Darstellungen bilden Matchingergebnisse des *Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt* (DLR) Berlin-Adlershof. Die Daten wurden in Form quadratischer Plattkarten abgebildet.

## 2 Problemstellung

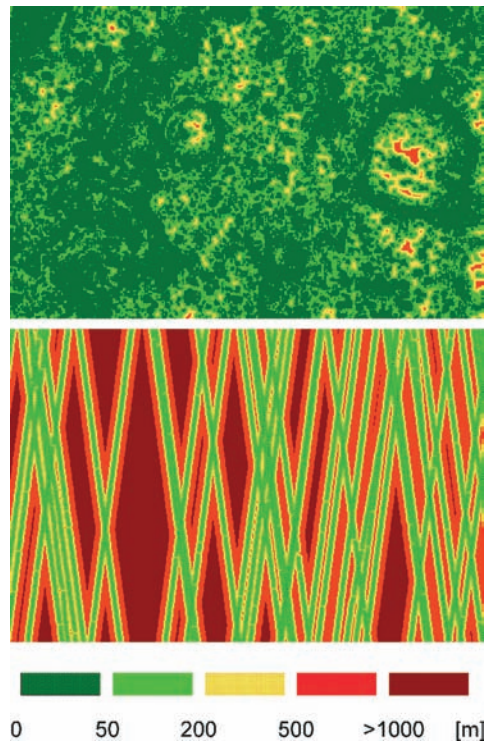
In diesem Kapitel werden die Eigenschaften der zur Verfügung stehenden Datensätze näher beschrieben, und es wird auf die damit verbundenen Probleme bei der Berechnung von DGMs eingegangen.

### 2.1 Datengrundlage

Flächenbasiertes Matching ist von der jeweiligen Albedo der aufgenommenen Oberfläche abhängig. In den Bereichen von Kratern und Bergrücken ist die Textur aufgrund stark ausgeprägter geologischer Formen verschiedenartig. Daher sind HRSC-Objektpunkte bei geeigneter Sonneneinstrahlung von hoher Qualität, sofern nicht allzu große schattige Bereiche auftreten. In ebenen Gebieten sind sie allerdings wegen des Mangels an Textur oftmals grob falsch und nicht flächendeckend vorhanden. In Abb. 1 wird ein Hochplateau im Bereich des Hydrates Chaos (Orbit 18) dargestellt, das in der Profilansicht der Objektpunkte nicht als solches zu erkennen ist. Die größten Ausreißer liegen zirka 500 m über der Oberfläche. Die Datendichte ist von der Auflösung der jeweiligen Bildinformationen abhängig. In Abb. 2 (oben) wird eine repräsentative Punktabstandskarte (BORGEFORS 1986) von einem zirka 1700 km<sup>2</sup> großen Ausschnitt im Bereich der *Nanedi Valles* (Orbit 905) erfassten HRSC-Objektpunkten dargestellt. Dieser Bereich wird auch in den folgenden Abbildungen verwendet. Eine Punktabstandskarte ist eine Farbkodierung des Abstandes



**Abb. 1:** Orthophoto im Bereich des Hydrates Chaos (links oben) und Profilansicht der HRSC-Objektpunkte (unten) innerhalb des angegebenen Bereichs (rechts oben).



**Abb. 2:** Punktabstandskarte aus HRSC-Objektpunkten (oben) und aus MOLA-Spuren (unten) des gleichen Bereichs in den *Nanedi Valles*. Es wurde die gleiche Farbkodierung gewählt.

von regelmäßig angeordneten Gitterpunkten, hier im Abstand von 100 m, zum nächstgelegenen Messpunkt.

MOLA ist ein Laserprofilier, dessen Messungen eine innere Höhengenaugigkeit von 1,4 m (NEUMANN et al. 2003) aufweisen. Die Dichte der MOLA-Daten ist allerdings gering. In Flugrichtung des Orbiters (*along track*) beträgt sie zirka 330 m, quer zur Flugrichtung (*across track*) abhängig von der areographischen Breite bis zu mehreren Kilometern. In Abb. 2 (unten) wird eine zur Abb. 2 (oben) gehörende Punktabstandskarte von MOLA-Daten gezeigt. Die um vieles geringere Datendichte der MOLA-Daten wird durch diese Darstellung deutlich. Während der Abstand zum Gitter bei den HRSC-Objektpunkten großteils im Bereich von maximal 200 m liegt, beträgt dieser bei den MOLA-Daten häufig mehr als 1000 m.

## 2.2 Berechnung digitaler Geländemodelle

Eine in der Lage sehr stark inhomogene Punktverteilung, wie sie bei HRSC-Objektpunkten und MOLA-Daten gegeben ist, wirkt sich auf die Berechnung von DGMs nachteilig aus. Je nach der angewandten Berechnungsmethode nehmen in datenleeren Bereichen weit entfernte Messungen sehr großen Einfluss, oder es entstehen unüberbrückbare Löcher. Zufällige Fehler hingegen können teilweise reduziert werden (z. B. durch Mittelung der umliegenden Stützwerte, lineare Prädiktion), was sich aber glättend im Bereich von Kanten auswirkt. Grobe Fehler können, wenn sie nicht allzu häufig auftreten, bei Verwendung der robusten linearen Prädiktion (KRAUS 1997 und KRAUS & PFEIFER 1998) erkannt und eliminiert werden.

Die alleinige Zusammenführung von HRSC-Objektpunkten und MOLA-Spuren zur DGM-Berechnung verbessert die Qualität der DGMs nicht wesentlich, weil die MOLA-Daten nur punktuellen Einfluss nehmen können. Aus diesem Grund ist eine Klassifikation der HRSC-Objektpunkte in Oberflächenpunkte und Fehlmessungen unter besonderer Berücksichtigung der MO-

LA-Daten in Bereichen, in denen keine HRSC-Objektpunkte vorhanden sind, notwendig.

## 3 Klassifikation der HRSC-Objektpunkte

In diesem Kapitel werden zwei iterative Ansätze zur Klassifikation von HRSC-Objektpunkten vorgestellt. Die erste Methode dient zur Reduktion grob falscher Objektpunkte, die zweite zur Überbrückung datenleerer Bereiche anhand von MOLA-Daten und Eliminierung von grob falschen Daten in Bereichen, in denen mehr als 50 Prozent der HRSC-Objektpunkte fehlerhaft sind.

Die Grundlage beider Methoden ist jeweils ein grobes Ausgangs-DGM, dem im Laufe der Iteration Details hinzugefügt werden. Zur DGM-Berechnung wird die lineare Prädiktion verwendet, die es erlaubt, so genannte Filterwerte zu berücksichtigen. Die Filterwerte sollten in etwa dem zufälligen Fehler entsprechen. Bei Verwendung großer Filterwerte zur DGM-Berechnung wird dem DGM ein großer Spielraum bezüglich der Höhen an den Stützstellen eingeräumt. Dadurch kann ein glattes DGM abgeleitet werden. Setzt man kleine Filterwerte ein, wird das DGM beinahe durch die Stützwerte gezwungen. Kanteninformation bleibt dadurch erhalten, aber auch etwaige Fehler nehmen einen stärkeren Einfluss auf das DGM (KRAUS 2000).

Unabhängig von der Wahl der Klassifikationsmethode muss als vorbereitender Schritt die relative Höhe eines Toleranzbandes bestimmt werden. Daten innerhalb dieses Toleranzbandes, das zuerst um das Ausgangs-DGM und mit Fortschreiten der Iteration um DGMs aus Zwischenergebnissen gelegt wird, werden für den nächsten Iterationsschritt akzeptiert, die übrigen verworfen. Aufgrund des Erfahrungswerts der bisherigen Berechnungen, dass zirka 70 Prozent der ursprünglichen Daten akzeptiert werden, wird derzeit die Häufigkeit der Punkte um ein vorläufiges DGM als Kriterium zur Bestimmung der Größe des Toleranzbandes verwendet. Das heißt, dass das Toleranzband 70 Prozent der Daten um



ein grobes HRSC-Ausgangs-DGM beinhaltet. Je nach Datensatz werden so Toleranzbänder zwischen  $\pm 30$  m und  $\pm 50$  m eingesetzt.

Die beiden skizzierten Methoden werden im Folgenden im Detail beschrieben.

### 3.1 Reduktion grob fehlerhafter Objektpunkte

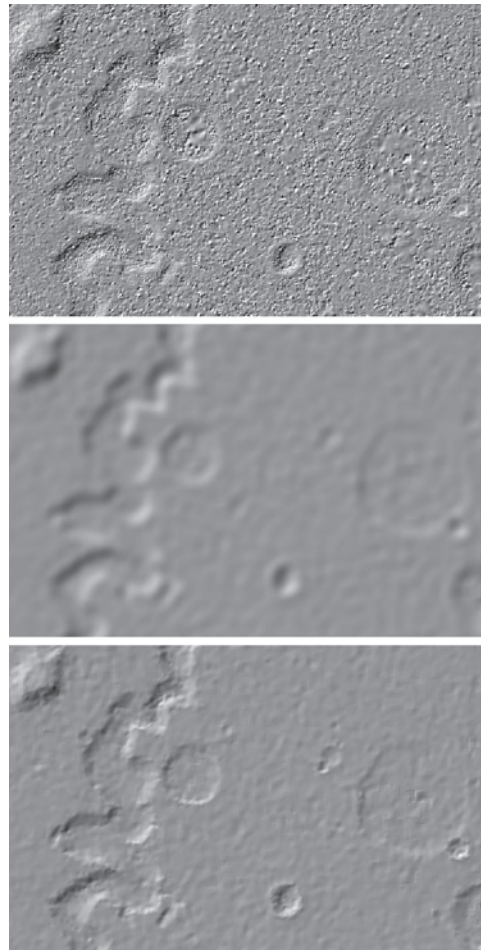
Diese Methode basiert auf der Annahme, dass weniger als 50 Prozent der vorhandenen Daten grob fehlerhaft sind. Sie sollte nur in Bereichen mit ausreichender Punktdichte angewendet werden. Die Methode ist wie folgt aufgebaut:

- (1) Ausdünnen der HRSC-Objektpunkte in einem groben Raster durch Mittelbildung,
- (2) Berechnung eines ersten DGMs aus dem ausgedünnten Datensatz mit großen Filterwerten,
- (3) Akzeptieren und Verwerfen der HRSC-Objektpunkte innerhalb eines Toleranzbandes um das zuvor berechnete DGM,
- (4) Berechnung eines DGMs aus den momentan akzeptierten HRSC-Objektpunkten mit kleinen Filterwerten,
- (5) Iterative Anwendung der Schritte (3) und (4) bis ein zufrieden stellendes Ergebnis erreicht ist.

Die Schritte (1) und (2) ermöglichen die Berechnung eines von Fehlern nicht belasteten, groben Ausgangsmodells. Die Schritte (3) und (4) werden iterativ angewandt, wodurch zu dem DGM aus Schritt (2) sukzessive Details hinzugefügt werden. Die Verwendung von kleinen Filterwerten in Schritt (4) zwingt das DGM durch die akzeptierten Stützwerte und führt daher dazu, dass Kanten nicht abgeschnitten werden. In einem Iterationsschritt akzeptierte Punkte können im nächsten wieder verworfen, verworfene Punkte wieder akzeptiert werden. Ergebnisse dieses Vorgangs sind akzeptierte und verworfene Punktwolken. Nach Beendigung der Berechnungen wird ein DGM aus den letztendlich akzeptierten Punkten abgeleitet.

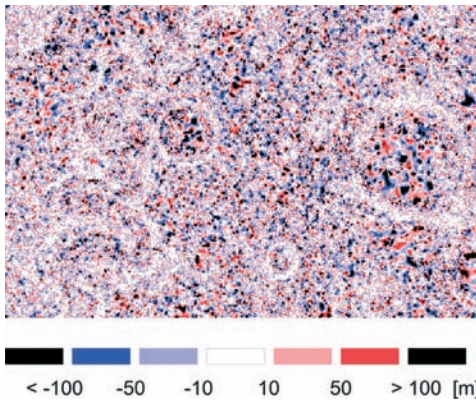
MOLA-Daten können bei dieser Methode als Zusatzinformation dienen. Sie haben aufgrund ihres punktuellen Einflusses allerdings eine geringe Auswirkung auf das Ergebnis.

In Abb. 3 (oben) ist ein aus den ursprünglichen HRSC-Objektpunkten berechnetes DGM abgebildet. Grobe Fehler sind gut erkennbar. Große Datenlöcher können – wie auch Abb. 2 (oben) zeigt – im inneren Bereich des großen Kraters im Osten und des kleineren im Bereich westlich der Mitte erkannt werden. In der Mitte von Abb. 3 ist



**Abb. 3:** DGM aus den HRSC-Objektpunkten (oben), aus dem ausgedünnten HRSC-Datensatz (Mitte) und den akzeptierten HRSC-Objektpunkten (unten) im Bereich von Abb. 2.





**Abb. 4:** Differenzenmodell von dem aus allen HRSC-Objektpunkten (Abb. 3 (oben)) und dem aus den akzeptierten HRSC-Objektpunkten (Abb. 3 (unten)) berechneten DGM.

das aus dem ausgedünnten Datensatz berechnete DGM dargestellt. Die Kanteninformation ist stark reduziert. Abb. 3 (unten) zeigt das aus den akzeptierten HRSC-Objektpunkten und MOLA-Punkten berechnete DGM. Das Datenloch im östlichen Krater konnte nicht gut überbrückt werden. Im Bereich von Abb. 3 standen 411.916 Objektpunkte zur Verfügung, 71 Prozent davon wurden bei Verwendung von 30 m für die relative Höhe des Toleranzbandes akzeptiert. Als Nachweis dafür, dass die Kanteninformation erhalten bleibt, wird in Abb. 4 auch die Höhenkodierung eines Differenzenmodells aus dem DGM des Ausgangsdatsatzes und aus dem DGM der akzeptierten HRSC-Objektpunkte und MOLA-Punkte (Abb. 3 (oben) und (unten)) abgebildet. Kleine Differenzen sind weiß (–10 m bis 10 m), darüber hinausgehende Werte sind blau (–100 m bis 10 m), rot (10 m bis 100 m) oder schwarz (größer 100 m, kleiner –100 m) dargestellt. Abb. 4 zeigt, dass im Bereich der Geländekanten sehr geringe Differenzen vorhanden sind. Im Bereich von Ebenen bestehen allerdings sehr große Differenzen. Dies ist auf die grob fehlerhaften HRSC-Objektpunkte zurückzuführen, die beim Matching aufgrund mangelnder Textur in ebenen Bereichen entstehen.

### 3.2 Überbrückung von Datenlöchern und Elimination großer fehlerhafter Bereiche anhand von MOLA-Daten

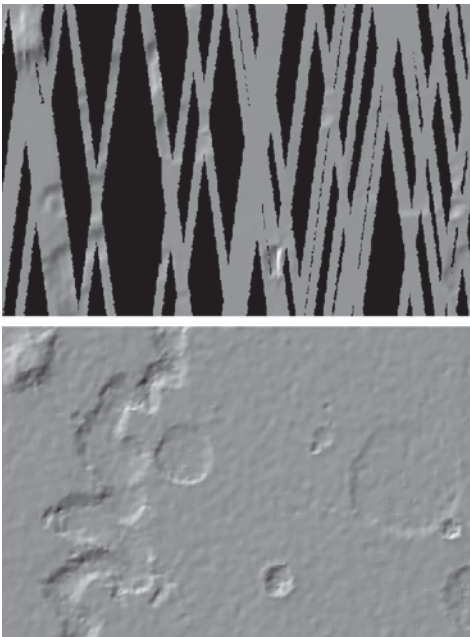
Da die eben erklärte Methode die Ansprüche zur Erstellung von hochwertigen DGMs nur teilweise erfüllt, muss eine Erweiterung gefunden werden, welche die MOLA-Daten ihrer hohen Genauigkeit entsprechend einbindet. Der folgende Ansatz geht wiederum von einem groben DGM aus, allerdings bildet nun ein MOLA-DGM den Startwert. Dieses MOLA-DGM wird nur innerhalb eines schmalen Bandes, eines Distanzbandes, um die jeweiligen MOLA-Spuren berechnet. Daraufhin folgt wiederum ein iterativer Prozess aus Akzeptieren und Verwerfen von Daten innerhalb eines Toleranzbandes und anschließender DGM-Berechnung, allerdings mit schrittweiser Ausweitung des DGMs anhand immer breiter werdender Distanzbänder. Die Methode wird folgendermaßen angewandt:

- (1) Ermittlung von Distanzbändern um die MOLA-Daten,
- (2) Berechnung eines MOLA-DGMs innerhalb der Distanzbänder,
- (3) Akzeptieren und Verwerfen der ursprünglichen HRSC-Objektpunkte innerhalb eines höhenmäßigen Toleranzbandes um das zuvor berechnete DGM,
- (4) Berechnung eines DGMs aus den MOLA-Daten und den momentan akzeptierten HRSC-Objektpunkten,
- (5) Ausdehnung der Distanzbänder,
- (6) Berechnung vermittelnder Flächen am Rand des DGMs aus Schritt (4) innerhalb der neuen Distanzbänder aus Schritt (5) und Integration in das DGM aus Schritt (4),
- (7) Iterative Anwendung der Schritte (3), (4), (5) und (6) bis alle aufgrund der Distanzbänder entstandenen Löcher geschlossen sind.

Die Schritte (1) und (2) ermitteln wiederum den Startwert. Die Schritte (3) bis (6) werden solange iterativ durchgeführt, bis die aufgrund der Distanzbänder entstandenen Löcher geschlossen sind. Diese Methode liefert

auch in Bereichen, wo Datenlöcher oder eine Kombination aus Datenlöchern und groben Fehlern vorhanden sind, gute Ergebnisse. Da die MOLA-Spuren als Startinformation dienen, können bei dieser Methode mehr als 50 Prozent der Daten mit groben Fehlern behaftet sein. Es bleibt aber zu bedenken, dass der Durchmesser des auftretenden MOLA-Signals am Mars zirka 130 m beträgt. Bei hoch auflösenden HRSC-Daten kann es daher sinnvoll sein, nach der ersten Iteration auch die MOLA-Punkte der Klassifikation zu unterwerfen.

In Abb. 5 (oben) wird einem MOLA-DGM, das als Startwert dient, das Ergebnis nach 32 Iterationen (unten) im Bereich von Abb. 2 gegenübergestellt. Das Kraterinnere im östlichen Bereich der Abbildung wird bei Verwendung dieser Methode besser dargestellt als in Abb. 3 (unten). Bei Verwendung einer Toleranzbandhöhe von 30 m wurden 75 Prozent der HRSC-Objektpunkte akzeptiert. In diesem Ausschnitt sind 781 MOLA-Punkte vorhanden.



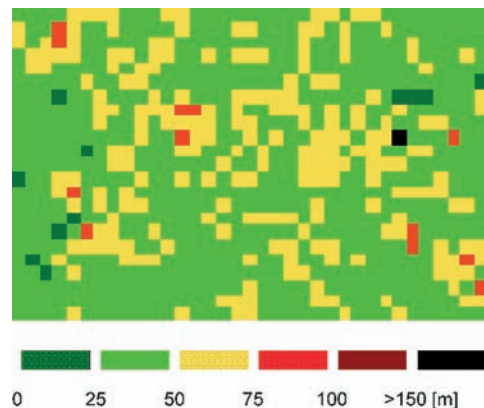
**Abb. 5:** Ausgangs-DGM aus MOLA-Spuren (oben), DGM aus den schließlich akzeptierten HRSC-Objektpunkten und MOLA-Spuren (unten) im Bereich von Abb. 2.

Vor allem im äquatornahen Bereich, wo die Abstände der MOLA-Spuren einige Kilometer betragen können (siehe auch Abb. 2, unten), ist diese Methode bei großen Datensätzen sehr langwierig. Da in einem Orbit eines HRSC-Bildes meist mehr als 20 Millionen Objektpunkte gematcht werden, kann man sich auch mit diesem Ansatz nicht zufrieden geben. Eine Steigerung der Effizienz ist durch die Zusammenführung beider Methoden zu erwarten, die im nächsten Abschnitt behandelt wird.

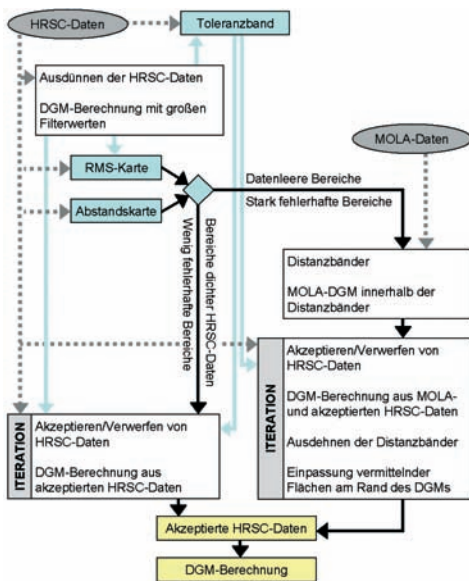
### 3.3 Zusammenführung beider Methoden

Die Zusammenführung der beiden zuvor beschriebenen Methoden setzt die Kenntnis der Lage problematischer Zonen in den HRSC-Objektpunkten, das sind im Wesentlichen datenleere Bereiche und Bereiche mit mehr als 50 Prozent grob fehlerhafter Daten, voraus. In diesen Gebieten kann die Klassifikation mit MOLA durchgeführt werden (3.2). Ansonsten genügt die Reduktion der Fehler ohne besondere Gewichtung der MOLA-Punkte (3.1).

Datenleere Bereiche können anhand von Punktabstandskarten (siehe Abb. 2) erfasst werden. Einen Überblick über potentielle Bereiche mit mehr als 50 Prozent fehlerhafter Daten gibt der RMS (root mean square error) der Abstände der HRSC-Objekt-



**Abb. 6:** RMS-Karte des in Abb. 2 dargestellten Bereichs.



**Abb. 7:** Blockdiagramm der beschriebenen Methode.

punkte von einem mit großen Filterwerten berechneten DGM aus dem ausgedünnten Datensatz (siehe 3.1, (1) und (2)). In Abb. 6 ist eine solche RMS-Karte dargestellt. Beim Vergleich mit Abb. 2 (oben) wird deutlich, dass in der Umgebung datenleerer Bereiche auch der RMS sehr groß ist, vor allem im Bereich der bei der Behandlung von Abb. 3 erwähnten Krater. Die Verwendung von Methode 3.2 wird nur in den Teilbereichen durchgeführt, wo datenleere Bereiche oder potentielle grobe Fehler erkannt werden. In allen anderen Gebieten wird Methode 3.1 durchgeführt. Der vollständige Ablauf ist in Abb. 7 dargestellt.

#### 4 Zusammenfassung und Ausblick

Die aus flächenbasiertem Matching stammenden HRSC-Objektpunkte beinhalten grob fehlerhafte Daten und teilweise Datenlöcher. Als Grundlage zur Berechnung hochwertiger DGMs können diese Daten deshalb nur bedingt verwendet werden. Daher wurden zwei iterativ anzuwendende Punktklassifizierungsmethoden entwickelt, die diese Einflüsse auf das DGM verringern.

Die erste Methode basiert auf einem groben HRSC-DGM als Ausgangsmodell und ermöglicht die Reduktion grob fehlerhafter Daten. Die zweite Methode verwendet ein grobes MOLA-DGM als Startwert und ermöglicht die Überbrückung von Datenlöchern. Um eine effiziente Vorgangsweise sicherzustellen, werden beide Methoden zu einem Ansatz zusammengefasst. Ergebnisse sind jeweils die akzeptierte und die verworfene Punktwolke und ein DGM aus den akzeptierten Daten. Die vorgestellten Methoden wurden bereits in mehreren Orbits getestet, wobei zuverlässige Ergebnisse erzielt wurden.

In weiterer Folge soll vor allem auf die Bestimmung der Größe des Toleranzbandes, die derzeit stark von Erfahrungswerten beeinflusst wird, verbessert werden. Da die HRSC-Datensätze aufgrund der verschiedenen Auflösung der Bildinformation sehr unterschiedlich sind, muss das Toleranzband aus dem jeweiligen Datensatz bestimmt werden. Es muss auch die Verteilung der Punkte aus Matching-Verfahren berücksichtigt werden. Je tiefer kleinstrukturierte Geländeformen im Vergleich zur Umgebung liegen, desto weniger Objektpunkte können innerhalb dieser Strukturen gematcht werden. Dies betrifft vor allem enge Flussläufe, die zusätzlich durch Schatten beeinflusst werden. Durch die Wahl einer größeren „unteren“ als „oberen“ Toleranz (etwa ein Drittel) im ersten Iterationsschritt kann dieses Problem gelindert werden.

Derzeit wird eine automatische Prozessierungskette zur Berechnung digitaler Geländemodelle aus HRSC-Daten entwickelt. Diese besteht aus der Verbesserung der Parameter der äußeren Orientierung (SCHMIDT et al. 2005 und SPIEGEL et al. 2005), der Ableitung der Objektpunkte (SCHOLTEN et al. 2005b), der in diesem Artikel beschriebenen Punktklassifizierung und der abschließenden DGM-Berechnung. Es handelt sich dabei um eine Zusammenarbeit der Universität Hannover und der Technischen Universität München und Wien sowie des DLR im Rahmen des Projekts „HRSC on Mars Express“.

## Danksagung

Die Autorin bedankt sich bei der österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (ehemals ASA) für die finanzielle Unterstützung des Projekts unter DOK.-Nr.: ASAP-CO-006/04 und bei Dipl.-Ing. FRANK SCHOLTEN vom DLR Berlin-Adlershof für das zur Verfügung stellen der Matching-Ergebnisse.

## Literatur

- ALBERTZ, J. et al.; Neukum, G. and the HRSC CoI-Team (2005): HRSC on Mars Express – Photogrammetric and Cartographic Research. – Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (PE&RS), Journal of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), im Druck.
- BORGEFORS, G., 1986: Distance transformation in digital images. – Computer Vision Graphics Image Processing **34** (3): 334–371.
- HOFFMANN, H., BEHNKE, TH., HAUBER, E., FLOHNER, J., MATZ, K.-D., PISCHEL, R., JAUMANN, R. & NEUKUM, G., 2003: Science Performance Budget for the HRSC on Mars Express. – Doc. No.: HRSC-DLR-BG-9000-010.
- KRAUS, K., 1997: Eine neue Methode zur Interpretation und Filterung von Daten mit schiefer Fehlerverteilung. – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation (VGI) **85** (1): 15–30.
- KRAUS, K. & PFEIFER, N., 1998: Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. – International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Journal of Photogrammetry and Remote Sensing **1998** (53): 193–203.
- KRAUS, K., 2000: Topographische Informationssysteme – Photogrammetrie Band 3., 1. Aufl., 419 Seiten, Dümmler Verlag, Bonn.
- NEUMANN, G. A., LEMOINE, F. G., SMITH, D. E. & ZUBER, M. T., 2003: The Mars Orbiter Laser Altimeter archive: Final precision experiment data record release and status of radiometry. – Lunar Planetary Science XXXIV, Lunar and Planetary Institute, Houston.
- SCHMIDT, R., HEIPKE, C., BRAND, R. et al., 2005: Automatische Bestimmung von Verknüpfungspunkten in HRSC-Bildern der Mars Express Mission. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2005** (5): 373–380.
- SCHOLTEN, F., GWINNER, K., ROATSCH, T., MATZ, K.-D., WÄHLISCH, M., GIESE, B., OBERST, J., JAUMANN, R. & NEUKUM, G., 2005a: Mars Express HRSC data processing – Methods and operational Aspects. – Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (PE&RS), Journal of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), im Druck.
- SCHOLTEN, F. et al., 2005: Von Rohdaten aus dem Mars Express Orbit zu Digitalen Geländemodellen und Orthobildern – Operationelle Verarbeitung von HRSC Daten. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2005** (5): 365–372.
- SPIEGEL, M., STILLA, U., GIESE, B. et al., 2005: Bündelausgleichung von HRSC-Bilddaten mit Mars Observer Laser Altimeter-Daten als Pansinformation. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2005** (5): 381–386.
- Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA): Science Investigation Site, NASA's Goddard Space Flight Center, USA. <http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/tharsis/mola.html>, [http://www.wustl.edu/MarsGlobalSurveyor\(MGS\):JetPropulsionLaboratory,CaliforniaInstituteofTechnology,USA](http://www.wustl.edu/MarsGlobalSurveyor(MGS):JetPropulsionLaboratory,CaliforniaInstituteofTechnology,USA). <http://mars.jpl.nasa.gov/mgs>

### Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. MARIA ATTWENGER  
Technische Universität Wien, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung  
Gußhausstraße 27–29, A-1040 Wien  
Tel.: +43-1-58801-12243, Fax: +43-1-58801-12299, e-mail: [ma@ipf.tuwien.ac.at](mailto:ma@ipf.tuwien.ac.at)

Prof. Dr. GERHARD NEUKUM  
Freie Universität Berlin, Institut für Geologische Wissenschaften/Planetologie  
Malteserstraße 74–100, D-12249 Berlin  
e-mail: [gneukum@zedat.fu-berlin.de](mailto:gneukum@zedat.fu-berlin.de)

Manuskript eingereicht: Juni 2005  
Angenommen: Juli 2005



## Verbesserung räumlicher Daten durch »Shape-from-Shading«

EGON DORRER, HELMUT MAYER, YVONNE HAASE, ALEXEY OSTROVSKIY, JÖRG RENTER, MATTHIAS RENTSCH, SERGIY REZNIK, München; GERHARD NEUKUM und das HRSC Co-Investigator Team

**Keywords:** photogrammetry, cartography, shape-from-shading, spatial data, planetary mapping, HRSC, Mars

**Zusammenfassung:** Der Artikel ist ein Bericht über Untersuchungen zur Anwendung von *shape-from-shading* (SFS) zur Verbesserung räumlicher Daten, die von der photogrammetrischen Verarbeitung von HRSC-Bilddaten (*High Resolution Stereo Camera*) in ESA's Mars Express Mission stammen. Beschrieben wird der Kern eines Verfahrens zur späteren Modifizierung der beleuchtungsabhängigen Schattierung in HRSC-Bildszenen. Dieser Kern ist eine SFS-Methode, die unter gewissen Voraussetzungen eine distinkte Verfeinerung eines durch Bildzuordnung erzeugten à-priori-DGM ermöglicht. Nach einer allgemeinen Beschreibung von SFS im Kontext seiner Einbettung in ein größeres Verarbeitungssystem und der Variations- und Ausgleichsrechnung durch direkte Auflösung des Minimalfunktionalen werden neuere Ergebnisse, die das Potential der Methode zeigen, im Detail diskutiert.

**Summary:** *Improvement of spatial data by means of »Shape-from-Shading«.* The article is an account of investigations into the use of *shape-from-shading* (SFS) for the improvement of spatial data obtained from photogrammetric processing of HRSC ("High Resolution Stereo Scanner Camera") imagery on ESA's Mars Express Mission. Described will be the kernel of a process for modifying illumination induced shades in HRSC image scenes at a later stage. This kernel is an SFS-method which, under certain conditions, enables a distinct refinement of a prior DTM generated by image matching. After a general description of SFS in the context of its embedding in a larger process and the Calculi of Variations and Least Squares Adjustment by directly solving the minimization functional, most recent results, showing the potential of the method, are discussed in some detail.

---

### Einleitung

Der Beitrag behandelt eine im Angelsächsischen mit *Shape-from-Shading* (SFS) (siehe z. B. HORN & BROOKS 1989) bezeichnete Methode (deutsch etwa „Gestalt aus Schattierung“), die sich für texturschwache Oberflächen, wie sie etwa auf dem Mars vorkommen, besonders gut eignet. *Shape-from-Shading* geht auf HORN (1970) zurück und wird hauptsächlich in Mathematik und Theorie orientierten Publikationen behandelt. Einen ausgezeichneten Überblick hierüber vermittelt ZHANG et al. (1999). Echte Anwendun-

gen größeren Stils sind selten, meist noch in Entwicklung und haben in der Planetaren Kartographie relativ spät Eingang gefunden. Während in DORRER et al. (1998) und DORRER et al. (2004) das klassische, auf HORN zurückgehende Einbild-SFS Anwendung findet und im folgenden weiter verfeinert wird, untersuchen HEIPKE et al. (2001) ein Mehrfachbild-Konzept unmittelbar über die Originalbilder und FUA (1997) zusätzlich eine Integration von *Shape-from-Matching* (SFM) in SFS. Die größten Erfahrungen mit SFS für Bilder des Mars dürfte wohl KIRK et al. (2004) vom U.S. Geological



Survey in Flagstaff, Arizona, haben. Wegen des hohen Grades an Komplexität von SFS befinden sich praktisch alle diese Studien noch im Forschungsstadium. Die hier gezeigten Ergebnisse lassen aber das hohe in SFS steckende Potential erahnen.

Die im folgenden erläuterte SFS-Version, die im Rahmen des HRSC-Forscherteams entwickelt wird, ist durch die Tatsache charakterisiert, dass ein mittels Bildzuordnung der Digitalen Photogrammetrie (SFM) generiertes Geländemodell (DGM) als Ausgangsbasis dient, welches durch SFS verfeinert wird. SFS ist dabei als ergänzende Methode zu verstehen, weil sie gerade dort gut funktioniert, wo SFM mangels Kontrast und Textur versagt. Unter gewissen Voraussetzungen, die unten erläutert werden, ist die Verfeinerung bzw. Verbesserung eines DGM durch SFS substantiell. Die Methode beruht im Prinzip auf der Modellierung der in einem Bild dargestellten Helligkeitsverteilung (Schattierung) als Funktion der Geländeneigung, woraus durch Invertierung das DGM abgeleitet werden kann. Da die Reflexionseigenschaften der Oberfläche praktisch nicht bekannt sind, muss man sich mit einem möglichst einfachen Reflexionsgesetz begnügen. Meist nimmt man die Oberfläche als rein diffusen Strahler an, so dass das Lambertsche Kosinusgesetz verwendet werden kann. Für ein Einzelbild repräsentiert das Verfahren mathematisch zwar ein „schlecht gestelltes Problem“, durch Hinzunahme geeigneter Nebenbedingungen lässt sich aber eine der Realität erstaunlich nahe kommende Lösung finden.

## Shape-from-Shading

### Vorverarbeitung

Die aus der Literatur bekannten SFS-Verfahren gehen durchweg von den vereinfachten geometrischen Verhältnissen eines orthographischen Bildes aus. In unserem Ansatz stützen wir uns deshalb von Anfang auf die Existenz von Orthobildern, also von Bilddaten, die auf derselben Geometrie wie die zugehörigen DGMs beruhen. Im Zuge der DGM-Verfeinerung durch SFS muss

dann das Orthobild nachkorrigiert werden, weil es ja ursprünglich vom genäherten à-priori-DGM abstammte.

À-priori-DGM und Orthobild werden von der Datenprozessierungsgruppe am DLR-Institut für Planetenerkundung in Berlin-Adlershof zur Verfügung gestellt. Diese räumlichen Daten sind eng mit der kartographischen Endverarbeitung der Mars-Daten verknüpft. Sie beziehen sich deshalb bereits auf die im Co-I-Team vereinbarte Kartenprojektion, nämlich lokale Sinusoidalprojektionen bis 85° Breite und Azimutalprojektion an den Polen. Da die DGM-Höhen definitionsgemäß aus den sphäroidischen Orthogonalhöhen unverändert übernommen werden, ist die Metrik des Projektionsraums nichteuklidisch. Diese Tatsache ist von Bedeutung, weil die für SFS benötigte Beleuchtungsrichtung – als Vektorfeld („SunX“, „SunY“, „SunZ“) im planetozentrischen Bezugssystem verfügbar gemacht durch die DLR-Gruppe – sich auf das Projektionssystem beziehen muss. Die entsprechenden Umrechnungen werden im Vorfeld von SFS vorgenommen.

Ergänzend zu den (à-priori) DGM-Höhen bekommen wir auch Fehlermaße („acc“), die im Rahmen der photogrammetrischen Vorwärtsschnitte abgeleitet worden sind. Diese Fehlermaße sind maßgebend für das stochastische Modell des Verfahrens. Übersteigen gewisse Fehlerwerte einen bestimmten Schwellwert, oder immer wenn SFM misslungen war, so entsteht ein DGM mit Lücken („gaps“). Da das SFS-Verfahren eine hinreichend glatte à-priori-DGM-Oberfläche verlangt, müssen diese Lücken sinnvoll und unter Beibehaltung der vorgegebenen Höhen interpoliert werden. Bedenkt man, dass typische Mars-Szenen gelegentlich aus mehr als zwei Drittel Lücken bestehen, darüber hinaus auch Ausreißer vorkommen können, ist dies keine triviale Aufgabe.

### Konzept

Das hier verfolgte Konzept von SFS wird in DORRER et al. (2004) beschrieben. Erweiterungen haben sich hinsichtlich der Einbe-

ziehung eines inhomogenen stochastischen Höhenmodells („*acc*“), der Herausfilterung von Schattenflächen sowie der Berechnungen in der Projektionsmetrik ergeben. Methodisch ist SFS ein Problem der Variationsrechnung mit Nebenbedingungen, in welchem die Höhen  $Z$  und ihre partiellen Ableitungen  $(p, q)$  als Unbekannte auftreten. In unserem Ansatz drücken wir die Ableitungen durch Faltungen von  $Z$  mit geeigneten Differenzfiltern aus, so dass sich ein Problem der Kleinsten Quadrate mit  $Z$  als einziger Unbekannter einstellt. Im kontinuierlichen Bereich ist die grundlegende SFS-Gleichung durch das Minimierungsintegral

$$J(Z) = \iint_{\Omega} [M(E - \rho R(p, q))^2 + \lambda Q(Z - Z^{(0)})^2] dX dY \rightarrow \min \quad (1)$$

über eine Szene  $\Omega$  in der  $(X, Y)$ -Ebene definiert.  $Z$  ist dabei die Oberfläche des gesuchten DGM,  $Z^{(0)}$  ist das à-priori-DGM;  $E$  ist die Irradianz (Helligkeit) des gegebenen Orthobildes,  $R$  die modellierte reflektierte Szenenradianz ohne Albedoeinfluss („Reflektanzkarte“ nach HORN 1970),  $Q$  ist ein Höhengewichtsmodell indirekt proportional zum Quadrat von („*acc*“) und  $M$  stellt eine mehr oder weniger automatisch bestimmte Schattenmaske dar, die Schattenflächen herausfiltern soll. Mit dem Faktor  $\lambda$  lässt sich die Signifikanz des Höhenglieds gegenüber dem Irradianzglied empirisch gewichten;  $\rho$  ist ein konstanter Faktor, der die Oberflächenalbedo, d. h. den Reflexionsgrad, beinhaltet und aus

$$\rho = \frac{\iint ER dX dY}{\iint R^2 dX dY} \quad (2)$$

geschätzt werden kann. Nach dem Lambertschen Reflexionsgesetz ergibt sich die zur Bildirradiance  $E$  proportionale ideale Radianz  $R$  in einem Oberflächenpunkt im Projektionssystem aus

$$R = s^\circ \cdot \mathbf{G} \cdot \mathbf{n}^\circ \quad (3)$$

mit  $s^\circ$  als Sonneneinheitsvektor,  $\mathbf{n}^\circ$  als Einheitsvektor des Gradienten  $\mathbf{n} = (-p, -q, 1)$  der DGM-Oberfläche und  $\mathbf{G}$  als metrischen Tensor.

Als eine Art einfaches stochastisches Modell trägt das Höhengewichtsmodell  $Q$  den inhomogenen Genauigkeitsverhältnissen der à-priori-Höhen  $Z^{(0)}$  Rechnung und ist dadurch für das SFS-Problem eine „weiche“ Randbedingung. So führt z. B. ein kleiner „*acc*“-Wert, d. h. ein kleiner Höhenfehler, zu einem großen  $Q$ -Wert, so dass der Höhenterm in Gl. (1) dominiert und zu einer nur geringen Variation von  $Z$  führt. Dies entspricht einem „weichen“ Passpunkt. Bei kleinem  $Q$  überwiegt dagegen der Irradianzterm und  $Z$  kann stärker variieren.

Die Minimumsgleichung in diskretisierter Form wird nach der Methode der Konjugierten Gradienten durch Variation von  $Z$  solange iterativ gelöst, bis das Funktional  $J$  minimal geworden ist (DORRER et al. 2004). An einem Standard-PC liefert die derzeitige Version des C-Programms selbst für Szenen der Größe  $2000 \times 2000$  Pixel brauchbare Ergebnisse (d. h. nach etwa 30 Iterationen) innerhalb von 15 Minuten.

Die gegenwärtige Programmversion setzt voraus, dass die Geländeoberfläche einer zu verarbeitenden Szene aus Material mit homogenen Reflexionseigenschaften besteht. Im Idealfall bedeutet dies perfekte diffuse Reflexion (Lambert) und konstante Albedo. In der Realität ist aber immer ein gewisser Teil an gerichteter Reflexion vorhanden, so dass im Zuge unserer Entwicklungen andere, kompliziertere Reflexionsgesetze Anwendung finden müssen. Szenen mit distinkt unterschiedlichen Oberflächenmaterialien können derzeit ebenfalls (noch) nicht verarbeitet werden. Darüber hinaus bereiten Schattenflächen noch Probleme, da der Übergang zum Nichtschatten nicht überall eindeutig definiert werden kann.

## Ergebnisse

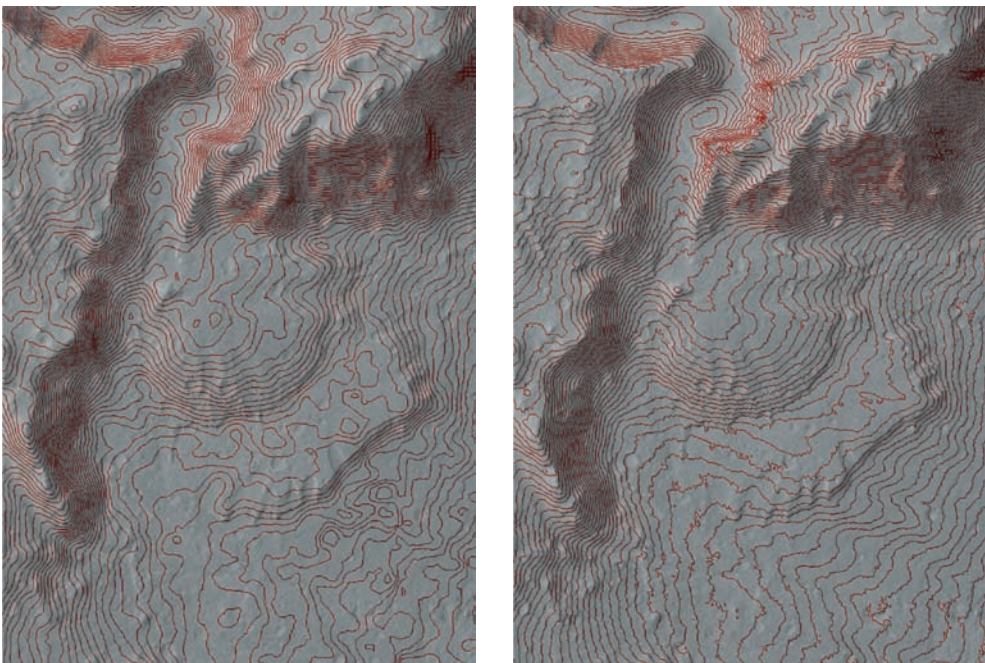
Im Zuge der Entwicklung einer stabilen SFS-Software führen wir laufend experimentelle Tests mit von der DLR-Gruppe vorbereiteten HRSC-Daten durch (siehe voriges Kapitel). Die folgenden Beispiele resultieren aus der gegenwärtigen Programmversion, die weiteren Verfeinerungen und Erweiterungen unterliegt. Die Ergebnisse

bestätigen das Verbesserungspotential von SFS. Die verschiedenen Szenen sind Ausschnitte von den zwei benachbarten Mars-Express-Umlaufbahnen 905 und 927, aufgenommen über der Region Nanedi in Xanthe Terra bei etwa  $50^\circ$  westlicher Länge und zwischen Äquator und  $14^\circ$  nördlicher Breite. Die Topographie ist gekennzeichnet durch eine mit Kratern übersäte, sonst flache, generell nach Norden abfallende Oberfläche, mit mehreren Ausflusskanälen und Tälern. Mit Höhen zwischen 0 und  $-5000$  m liegt sie unterhalb des für Mars vereinbarten Referenzsphäroids. Die vorbereiteten Orthobilder besitzen eine Geländeauflösung von 50 m. Die mittlere Höhengenaugigkeit des  $\hat{a}$ -priori-DGM, das enorme Inhomogenitäten aufweist, liegt bei etwa 70 m.

Die Abbildungen sind Kompositionen aus Orthobildern und Höhenlinien, letztere abgeleitet aus den zugehörigen DGMs, und zwar jeweils links dem photogrammetrisch über SFM erhaltenen  $\hat{a}$ -priori-DGM und rechts dem SFS-verfeinerten DGM. Auf diese Weise können die unterschiedlichen

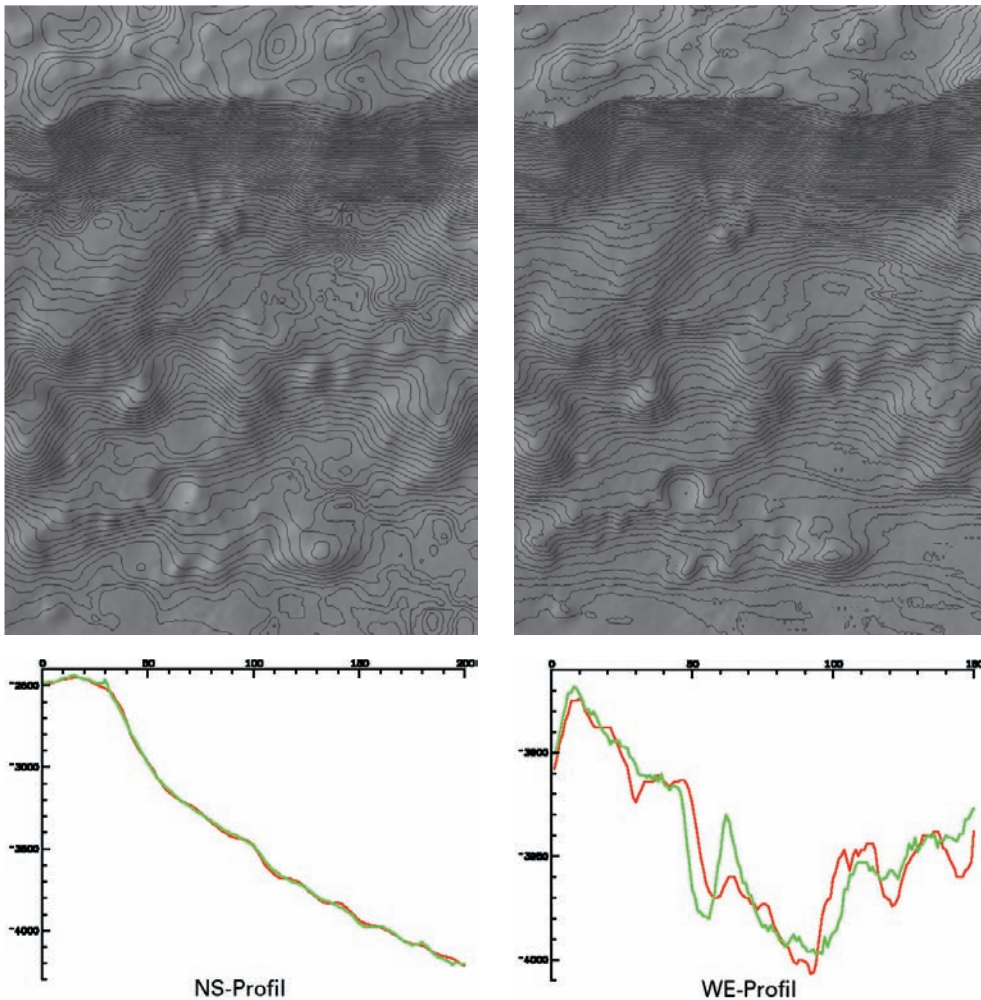
„Höhenlinien-Orthobildkarten“ direkt miteinander verglichen und bewertet werden. Dem Betrachter fällt die gute Anpassung der SFS-verfeinerten Höhenlinien an die über die Reliefschattierung wahrgenommenen Geländetopographie auf. Reliefschattierung und Höhenlinien bilden eine Einheit. Das ist nicht oder nur beschränkt der Fall für die aus dem  $\hat{a}$ -priori-DGM abgeleiteten Höhenlinien. Es dürfte einleuchten, dass das SFS-verfeinerte DGM eine weitaus höhere Detailgenauigkeit aufweist, also topographische und geomorphologische Einzelheiten besser widerspiegelt und somit eine sicherere Interpretierbarkeit bietet.

Abb. 1 zeigt eine Art Schwemmkegel als Zeugnis eines aus dem unmittelbar nördlich gelegenen kanalähnlichen Tal stammenden Ausflusses. Die 20-m-Höhenlinien im linken Bild lassen an vielen Stellen ihre Übereinstimmung mit der Reliefschattierung vermissen, wie z. B. an der unteren Schwemmkegelterrasse oder an den Steilstufen und Kammlinien des Gebirges. Das Höhenlinienbild wirkt darüber hinaus etwas zerfah-



**Abb. 1:** Vergleich von Höhenlinien (20-m-Intervall) zwischen dem  $\hat{a}$ -priori-DGM (links) und dem SFS-verfeinerten DGM. Größe der Szene  $16 \text{ km} \times 11,5 \text{ km}$ , maximale Höhendifferenz 1375 m.





**Abb. 2:** Vergleich von Höhenlinien (20-m-Intervall) zwischen dem  $\hat{a}$ -priori-DGM (links) und dem SFS-verfeinerten DGM. Größe der Szene  $10 \text{ km} \times 7,5 \text{ km}$ , max. Höhendifferenz 1974 m, Pixelgröße 50 m, Beleuchtung aus W. Rot: Profile des  $\hat{a}$ -priori-DGM; grün: Profile des verfeinerten DGM.

ren und, vor allem an flacheren Stellen, erratisch. Im Gegensatz dazu erscheinen die Höhenlinien im rechten Bild erheblich regelmäßiger. Eine solche hohe inhärente Korrelation, die hier durch SFS garantiert wird, ist ein sicheres Zeichen höherer Qualität. Das gesamte Höhenlinienbild passt sich eng der Geländeschattierung an und ist dadurch wesentlich detailgerechter.

Das Orthobild in Abb. 2 stellt einen Ausschnitt aus dem nördlichsten Teil eines knapp 42 km breiten Einschlagkraters dar, dessen Rand bei Höhe  $-1900$  und dessen

Mitte bei Höhe  $-4650$  liegen. Die abgebildete Landschaft lässt den Kraterrand als scharfe Kante erkennen, die sich auch gegenüber dem Ejektamaterial außerhalb des Kraters im Norden klar abhebt. Der Innenrand des Kraters fällt zunächst steil ab, wird aber gen Süden zu, durchsetzt mit chaotischen Abbruchmaterial, flacher. Im unteren Teil erkennt man auch einen kleinen Einschlagkrater mit einem Durchmesser von 780 m. Durch die Mitte dieses Kraters verlaufen auch die beiden, in Abb. 2 gezeigten Profile.

Die über das Orthobild gelegten 20-m-Höhenlinien im linken Teil der Abb. 2 stammen vom à-priori-DGM; sie weisen wiederum eine Reihe von Defiziten auf, hervorgerufen hauptsächlich durch den hohen Grad an Glättung bei SFM. So kommt der scharfe Kraterrand nicht zur Geltung, der kleine Einschlagkrater lässt sich aus den Höhenlinien nicht einmal erahnen und generell scheinen die Linien die über die Reliefschattierung wahrgenommene Oberfläche an vielen Detailstellen zu durchdringen, etc. Demgegenüber bildet das Höhenlinienbild im rechten Teil von Abb. 2 infolge der SFS-Verfeinerung eine nahezu perfekt erscheinende Symbiose mit der Reliefschattierung. Der Kraterrand hebt sich scharf ab (siehe auch das NS-Profil links in Abb. 2), der kleine Krater ist auf Anhieb erkennbar, und an vielen anderen Stellen hat der Betrachter die Gewissheit, Höhenlinien und Schattierung repräsentieren ein- und dasselbe Gelände. Dies bestätigen auch die beiden Höhenprofile. Während im NS-Profil bis auf den abrupten Kraterrand die beiden DGMs im großen Ganzen zusammenzupassen scheinen – bedingt durch den kleinen Höhenmaßstab (Skalenintervall 100 m) –, erkennt man rechts im WE-Profil (Skalenintervall 10 m) gravierendere Detaildifferenzen.

### Danksagung

Die Arbeiten werden vom BMBF unter Kontrakt Nummer 50QM0102 über das DLR-Projektmanagement unterstützt. Besonderer Dank gebührt den Co-Investigator Team Mitgliedern FRANK SCHOLTEN und KLAUS GWINNER vom DLR-Institut für Planetenerkundung für ihre Ratschläge und selbstlose Hilfe bei der Produktion und Vorbereitung geeigneter Daten für unsere Untersuchungen.

### Literatur

- DORRER, E. & ZHOU, X., 1998: Towards optimal relief representation from Mars imagery by combination of DEM and shape from shading. – *Int. Arch. Phot. & Rem. Sensing* **32** (4): 156–161.
- DORRER, E., MAYER, H., OSTROVSKIY, A., REZNIK, S., NEUKUM, G. and the HRSC Co-Investigator Team, 2004: De- and Re-Shading of Mars Express HRSC image data for homogenisation of map relief shading. – *ISPRS, Vol. XXXV, Part B4*: 1299–1303.
- FUA, P., 1997: From multiple stereo views to multiple 3-D surfaces. – *Int. Journal of Computer Vision* (**24**) 1: 19–35.
- HEIPKE, C., PIECHULLEK, C. & EBNER, H., 2001: Simulation studies and practical tests using multi-image shape from shading. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **56** (2): 139–148.
- HORN, B. K. P., 1970: Shape from Shading: A method for obtaining the shape of a smooth opaque object from one view. – *Diss., Dept. of Electrical Engineering, The MIT Press.*
- HORN, B. K. P. & BROOKS, M. J. (Hrsg.), 1989: Shape from Shading. – 577 S., The MIT Press, Cambridge, Mass., USA.
- KIRK, R. L., SQUYRES, S. W., NEUKUM, G. and the MER Athena and MEX HRSC Science Teams, 2004: Topography mapping of Mars: From hectometre to micrometre scales. – *ISPRS, Vol. XXXV, Part B4*: 834–839.
- ZHANG, R. L., TSAI, P.-S. & CRYER, J. E., 1999: Shape from Shading: A Survey. – *IEEE Trans., PA&MI, Vol. 21*: 670–706.

### Anschriften der Autoren:

- Prof. Dr.-Ing. EGON DORRER  
 Prof. Dr.-Ing. HELMUT MAYER  
 Dipl.-Ing. YVONNE HAASE  
 Dr. math. ALEXEY OSTROVSKIY  
 Dipl.-Ing. JÖRG RENTER  
 Dipl.-Ing. MATTHIAS RENTSCH  
 Dipl.-Ing. SERGIY REZNIK  
 Universität der Bundeswehr München, Institut für Photogrammetrie und Kartographie  
 Werner-Heisenbergweg 39, D-85577 Neubiberg  
 e-mail: egon.dorrer@unibw-muenchen.de
- Prof. Dr. GERHARD NEUKUM  
 Freie Universität Berlin, Institut für Geologische Wissenschaften/Planetologie  
 Maltesserstraße 74–100, D-12249 Berlin  
 e-mail: gneukum@zedat.fu-berlin.de

Manuskript eingereicht: Juni 2005  
 Angenommen: Juli 2005



## Das »Topographische Mars Informationssystem« (TMIS) – Konzept und Realisierung eines Systems zur Verwaltung planetenweiter Bild- und Topographiedaten

PETER DORNINGER, Wien, GERHARD NEUKUM und das HRSC Co-Investigator Team

**Keywords:** photogrammetry, information system, web services, XML, digital terrain model, High Resolution Stereo Camera, Mars

**Zusammenfassung:** Das *Topographische Mars Informationssystem (TMIS)* dient der Verwaltung und Verteilung von HRSC Originalbild- und daraus abgeleiteter Bild- und Geländemodelldaten. Im Rahmen der Entwicklung von TMIS wurde die Dissertation "*A Topographic Mars Information System – Concepts for Management, Analysis and Visualization of Planet-Wide Data*" verfasst. In dieser Arbeit werden zunächst Konzepte zur Modellierung und Verwaltung räumlicher Daten unter Berücksichtigung vorhandener Standards und Normen diskutiert. Die Möglichkeiten *Extensible Markup Language (XML)* basierter Formate für Datenhaltung und Datenaustausch raumbezogener Daten sowie deren kartographische Aufbereitung zur Darstellung im Internet werden im Detail untersucht. Derzeitig verfügbare Implementierungen von *Web Map Services (WMS)* liefern meist statische Kartendarstellungen, obwohl seitens der Spezifikation von WMS auch objektbasierte Ausgabeformate wie z.B. *Scalable Vector Graphics (SVG)* unterstützt werden. An Hand einer kartenbasierten Benutzerschnittstelle für TMIS wurden die Möglichkeiten von SVG eingehend untersucht. Abschließend wird in der Arbeit der Implementierungsstand von TMIS im Frühjahr 2004 als Anwendungsbeispiel der beschriebenen Methoden gezeigt. Der folgende Artikel stellt wesentliche Erkenntnisse zusammenfassend dar.

**Summary:** The »*Topographic Mars Information System*« (TMIS) – Concept and realization of a system for management of planet-wide data. TMIS is used for management and distribution of HRSC original and derived image data and topographic data. In the course of the development of TMIS, the dissertation '*A Topographic Mars Information System – Concepts for Management, Analysis and Visualization of Planet-Wide Data*' has been written. First, concepts for modelling and management of spatial data, considering existing standards and norms are discussed in this thesis. The capabilities of concepts for data management and exchange based on *Extensible Markup Language (XML)* and their applicability for cartographic visualization and presentation on the internet are investigated in detail. Currently available implementations of *Web Map Services (WMS)* mainly provide static representations, although the specification of WMS would support object-based presentation formats such as *Scalable Vector Graphics (SVG)* as well. During the development of a map-based interface for TMIS, the capabilities of SVG have been investigated. Finally, the status of implementation of TMIS is described as an application of the discussed concepts. The following article summarizes main results of this work.

### 1 Einleitung

In der Vorbereitung von *Mars Express (MEX)* wurde am *Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (I.P.F.)* der *Technischen Universität Wien* das *Topographische Mars Informationssystem (TMIS)* entwickelt. Mittlerweile werden etwa 1.500 GB an Bilddaten mit TMIS verwaltet und den beteiligten Forschungsgruppen zur Verfügung

gestellten. Mittlerweile werden etwa 1.500 GB an Bilddaten mit TMIS verwaltet und den beteiligten Forschungsgruppen zur Verfügung

gestellt. Abgeleitete Produkte wie digitale Geländemodelle oder Orthophotos werden ebenfalls verwaltet. TMIS stellt somit die zentrale Datendrehscheibe innerhalb der Projektgruppe „HRSC on Mars Express“ dar. Der Betrieb des Systems erfolgt am I.P.F. sowie am *Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Planetenforschung*, in Berlin.

Im Rahmen dieser Entwicklung wurde eine Dissertation verfasst (DORNINGER 2004). Im ersten Teil der Arbeit werden allgemeine Konzepte zur Modellierung und Präsentation raumbezogener Daten diskutiert und der Entwicklungsstand des TMIS im Frühjahr 2004 aufgezeigt. Ausgewählte Ergebnisse sind im Folgenden zusammenfassend dargestellt.

Im zweiten Teil der Dissertation werden Methoden zur Bearbeitung und Analyse topographischer Marsdaten untersucht. Da diese Untersuchungen durchgeführt wurden, bevor MEX Daten lieferte, basieren sie auf Topographiedaten, welche vom *Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA)* (<http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/tharsis/mola.html>), einem Instrument an Bord von *Mars Global Surveyor (MGS)* (<http://mars.jpl.nasa.gov/mgs>), erfasst wurden. Die Ergebnisse wurden bereits publiziert (DORNINGER et al. 2004, DORNINGER 2005) und werden im folgenden Artikel nicht näher beschrieben.

## 2 Datenbankmodelle für raumbezogene Daten

Seit nunmehr 15 Jahren befasst man sich am I.P.F. mit *Topographischen Informationssystemen (TIS)*. Derartige raumbezogene Informationssysteme verwalten digitale Daten und Modelle der natürlichen und künstlichen Topographie in einem Maßstabsbereich von 1:2.500 bis 1:100.000 (KRAUS 2000). Das TIS *TopDB* wurde von LOITSCH & MOLNAR (1991) präsentiert. Es handelt sich dabei um eine relationale Datenbank mit zusätzlichen Datentypen und Funktionen für topologische Relationen. Es stellt somit eine topologisch-relationale Datenbank dar. Das System, erweitert um die Datenbankapplikation *TopDM (Topographic*

*Data Management)* (HOCHSTÖGER 1996), wurde bislang zur Verwaltung landesweiter Topographiedaten eingesetzt. Das *Topographische Marsinformationssystem (TMIS)* ist eine Multiuser-Webapplikation für die Verwaltung, Verteilung, Analyse und Visualisierung planetenweiter Topographiedaten in Verbindung mit Bildinformation. Es integriert die Funktionalitäten von TopDB und TopDM.

Im Rahmen der Dissertation wurden verschiedene Datenbankmodelle zur Verwaltung raumbezogener Daten untersucht. Raumbezogene Daten stellen komplexe Objekte mit einer Vielzahl an Eigenschaften (Attributen) dar. Daher würden sich prinzipiell semantische wie auch objekt-orientierte Modelle (OO) auszeichnen, um derartige Daten zu modellieren. Allerdings haben derzeit verfügbare Implementierungen dieser Methode große Defizite. So gibt es beispielsweise keine standardisierte Abfragesprache, und die Trennung zwischen Datenbank-Managementssystem und Anwendung ist unscharf. Objekt-relationale Modelle (OR) stellen einen Kompromiss zwischen den Vorzügen rein objekt-orientierter und der bewährten relationalen Modelle dar. Diese dominieren derzeit den kommerziellen Markt und bieten somit die gewünschte Zuverlässigkeit. OR-Modelle stellen Konzepte von OO-Ansätzen, eingebettet in rein relationale Umgebungen, zur Verfügung. Dies sind beispielsweise abstrakte Datentypen, Objektidentifikatoren, Definition von Hierarchien, Definition von Methoden und Funktionen und vieles mehr. HEUER & SAAKE (2000) geben einen Überblick und kategorisieren kommerzielle OR-Systeme entsprechend der implementierten OR-Methoden. TMIS basiert auf der Datenbank Oracle (<http://www.oracle.com>), welches OR-Konzepte implementiert.

## 3 Extensible Markup Language zur Repräsentation raumbezogener Daten

Die *Extensible Markup Language (XML)* ist eine strukturierte, semantische Sprache und ermöglicht so, Daten gemeinsam mit

beschreibender Information (Metainformation) semi-strukturiert zu verwalten. Die Anwendung von XML als Metasprache erlaubt die Definition von Anwendungsschemata (XML-Schema), welche definieren, wie ein schemakonformes Dokument aufgebaut sein muss. Im Folgenden werden zwei ausgewählte XML-Anwendungen für Verwaltung und Visualisierung raumbezogener Daten vorgestellt:

- Geography Markup Language (GML)
- Scalable Vector Graphics (SVG)

### 3.1 Geography Markup Language

TMIS unterscheidet zwei Gruppen raumbezogener Daten: *Originaldaten* und *abgeleitete Produkte*. Originaldaten sind Messergebnisse, beispielsweise aus Bild- oder Laserscanning-Daten erstellt, und liegen typischerweise in Vektorform (Punkte, Linien, Polylinien, ...) vor. Solche Daten werden mit Hilfe des in Abschnitt 2 beschriebenen erweiterten topologisch-relationalen Modells verwaltet. Das zugehörige textbasierte Datenaustauschformat ist WINPUT. Dieses Format ermöglicht die Zuweisung eines Objektcodes zu jedem Punkt. Digitale Geländemodelle (DGMs) sind typische Repräsen-

tanzen von abgeleiteten Produkten. Neben rein punktbasierten DGMs (z. B. Gitter, Raster, Knoten von Triangulierungen) unterstützt TMIS ein so genanntes hybrides Geländemodell. D.h. neben einem regelmäßigen Gitter, abgeleitet aus den Originalpunkten, können auch zusätzliche Vektorinformationen, welche markante, topographische Strukturen definieren (z. B. Bruchlinien, Punkte mit horizontaler Tangentialebene, ...), verwaltet werden.

Die *Geography Markup Language (GML)* ist eine XML-Anwendung für Speicherung und Austausch raumbezogener Daten in Form von Geometrie und attributiver Information. Der aktuelle Standard GML 3 unterstützt komplexe 3D-Objekte, 2D-Topologien, Objekte zur Oberflächenbeschreibung (Gitter) und vieles mehr (Cox et al. 2003). Auf Grund der Integration von Zusatz- (Attribut) und Syntaxinformation (Tags) benötigen lesbare (plain-text) GML-Dokumente in der Regel mehr Speicherkapazität als rein geometriebasierte Formate (z. B. WINPUT, XYZ). Tab. 1 und 2 zeigen die Dateigrößen eines ausgewählten Testdatensatzes, welcher in ein GML-konformes Dokument konvertiert wurde. Der Testdatensatz (photogrammetrische Auswertung) enthält 55.801 Punkte. 16.140 Punkte davon modellieren topologisch zusammenhängende Objekte (Polylinien). Die restlichen Punkte wurden gitterweise erfasst (Gitterweite: 50 m). Die Daten liegen im WINPUT-Format vor. Aus diesen Originaldaten wurde ein DTM mit einer Gitterweite von 25 m abgeleitet. Die binäre DTM-Datei wurde in ein WINPUT-Dokument und in ein GML-Dokument konvertiert. Das WINPUT-DTM ist in diesem Fall größer als die GML-Datei,

**Tab. 1:** Platzbedarf von Originaldaten bei unterschiedlicher Speicherung.

	Dateigröße (Byte)			
	<i>Original</i>	<i>Bzip2</i>	<i>Gzip</i>	<i>XMill</i>
<i>WINPUT</i>	2.567.260	346.363	477.789	–
<i>GML</i>	4.744.025	335.141	503.808	440.327

**Tab. 2:** Platzbedarf von abgeleiteten Produkten bei unterschiedlicher Speicherung.

	Dateigröße (Byte)						
	<i>Original</i>		<i>Bzip2</i>		<i>Gzip</i>		<i>XMill</i>
	<i>ASCII</i>	<i>Binär</i>	<i>ASCII</i>	<i>Binär</i>	<i>ASCII</i>	<i>Binär</i>	<i>ASCII</i>
<i>DTM</i>	6.014.086	680.744	731.686	556.998	1.072.813	587.446	–
<i>GML</i>	2.046.373	–	439.641	–	625.936	–	619.146

da für jeden Höhenwert das gesamte Koordinatentripel gespeichert werden musste. GML hingegen unterstützt ein Gitter-Objekt. Deshalb müssen nur Ursprung, Ausdehnung und Gitterweite sowie die Höhenwerte der Gitterpunkte gespeichert werden.

Diese Dateien wurden mit verschiedenen Komprimierungsalgorithmen komprimiert, wobei zwei Open-Source-Lösungen, Bzip2 (<http://sources.redhat.com/bzip2/>) und Gzip (<http://www.gzip.org>), sowie eine eigens für XML-Dokumente implementierte Lösung, XMill (<http://sourceforge.net/projects/xmill>), verwendet wurden. Die erzielten Kompressionsraten sind etwa identisch (zw. 81 % und 93 %). Bzip2 (optimiert zur Kompression von Bilddaten) ist jedoch etwa um den Faktor 10 langsamer als die beiden anderen Kompressoren. Weitere Ergebnisse beschreibt DORNINGER (2004).

Wie bereits angedeutet, sind die GML konformen Dokumente größer. Für nichtzeit-kritische Anforderungen (z. B. Archivierung, Datenaustausch, ...) lässt sich der erhöhte Platzbedarf durch die Anwendung geeigneter Kompressionsverfahren stark reduzieren.

### 3.2 Scalable Vector Graphics

Scalable Vector Graphics (SVG) ist eine standardisierte XML-Anwendung für Speicherung, Austausch und insbesondere Web-Präsentation raumbezogener Daten (FERRAIOLO et al. 2003). Obwohl in der Bezeichnung „Vektor“ enthalten ist, unterscheidet SVG drei unterschiedliche Objekttypen: *Vektordaten*, *Rasterbilder* und *Text*. Im Gegensatz zu GML ist SVG auf 2D-Datenrepräsentation beschränkt. Gemäß der Definition von XML-Schemas kann das SVG-Schema zwar um die Repräsentation der dritten Dimension erweitert werden, allerdings können Standardapplikationen (z. B. SVG-Viewer) diese Information nicht korrekt interpretieren. DORNINGER (2004) gibt dennoch ein Beispiel zur 2,5D Erweiterung von SVG. Er demonstriert dieses Konzept an Hand eines „DTM Analyse Tools“.

SVGs können *on-the-fly*, beispielsweise durch Zugriff auf eine Datenbank, generiert werden. Für das TMIS wurde ein SVG-konformes, kartenbasiertes Benutzerinterface zur Abfrage von HRSC Bildern realisiert, das automatisch aus TMIS-Daten generiert wird (Abb. 1). Die Navigation ist vollständig im SVG-Dokument integriert. Vorteile einer derartigen objektbasierten Realisie-

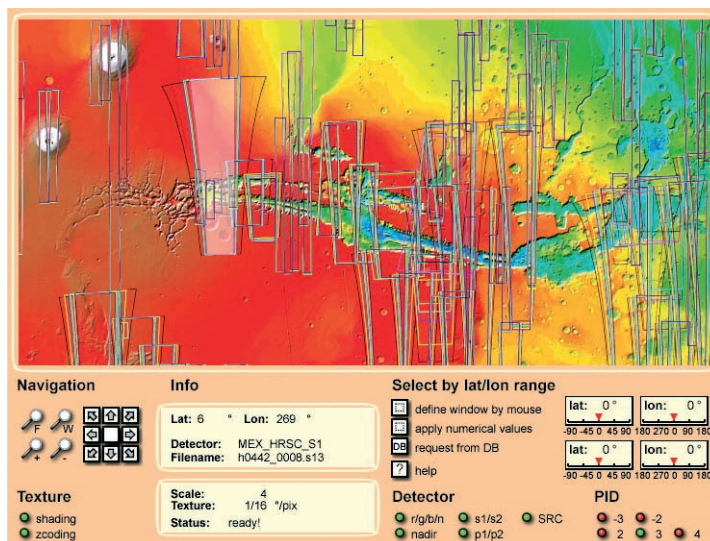


Abb. 1: SVG-basiertes Benutzerinterface von TMIS.

rung gegenüber statischer, rein bildbasierter Web Services sind im folgenden Abschnitt beschrieben.

#### 4 Web Services

KREGER (2001) definiert einen Web Service als „*Interface, welches eine Sammlung von Funktionen beschreibt, die über ein Netzwerk mittels standardisierter XML-Messages zugänglich sind*“. Auf diese Weise können Funktionen verteilter Applikationen zusammengefasst und in Form neuer Services zur Verfügung gestellt werden. Um dies gewährleisten zu können, ist es notwendig, im Rahmen der Realisierung eines Services auf die strikte Trennung von *Datenspeicherung, Datenzugriff und Manipulation* und *Datenpräsentation* zu achten. DOYLE & CUTHBERT (1998) definieren hierfür ein „*essential model of interactive portrayal*“ und weisen den einzelnen Stufen entsprechende Web Service Definitionen (<http://www.opengeospatial.org/>) zu.

Um räumliche Daten in einem Web-Browser zu präsentieren, werden häufig *Web Map Services (WMSs)* implementiert. Die meisten derzeitig verfügbaren Implementierungen von WMSs liefern statische Kartendarstellungen, obwohl seitens der Spezifikation von WMS auch objektbasierte Ausgabeformate wie z. B. *Scalable Vector Graphics*

(*SVG*) unterstützt werden. Tab. 3 listet grundlegende Unterschiede von objekt- und bildbasierten Realisierungen auf.

#### 5 Realisierung von TMIS

Das *Topographische Mars Informationssystem (TMIS)* basiert auf den in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Konzepten zur Modellierung raumbezogener Daten. Abb. 2 zeigt die Architektur von TMIS als Blockdiagramm. Entsprechend einer 3-Schicht-Architektur erfolgt eine Unterteilung in Datenverwaltung, Zugriff und Präsentation. Die Pfeile zwischen den einzelnen Komponenten symbolisieren unterschiedliche Abfrageszenarien. *User 1* fragt nach Metadaten (grün), *User 2* lädt Bilder vom Bildarchiv (hellblau) und *User 3* ordert topographische Daten (dunkelblau).

Die Datenverwaltung unterscheidet zwei Arten von Daten: Den *Metadaten-Katalog (MDK)* und den *Topographiedaten-Server (TDS)*. Der MDK stellt attributive Information zu den von TMIS verwalteten HRSC-Bildern zur Verfügung. An Hand dieser Attribute können einzelne Bilder bzw. Bildverbände vom Filearchiv, welches aus organisatorischen und sicherheitstechnischen Gründen am DLR betrieben wird, geordert werden. Der TDS implementiert das WMS-Interface. Allerdings werden nicht

**Tab. 3:** Gegenüberstellung von objekt- und bildbasierten Web Map Services.

	objektbasiert	bildbasiert
<i>Interaktivität</i>	client & serverseitig	serverseitig
<i>Skalierbarkeit</i>	clientseitig (ggf. serverseitige Pyramidenstruktur)	serverseitig
<i>Serveranfragen</i>	wenige	viele
<i>Dateigrößen</i>	abhängig von der Anzahl der Objekte und von der Auflösung der Rasterinformation	abhängig von Bildauflösung
<i>Client-Software</i>	Plug-in	keine
<i>Server-Hardware</i>	kleiner als bei bildbasiert	fat Server
<i>Integration externer WMSs</i>	client- und serverseitig: – <i>bildbasiert</i> : leicht realisierbar – <i>objektbasiert</i> : Probleme bei komplexer Dokumentstruktur	<i>clientseitig</i> : als Overlay <i>serverseitig</i> : direkt integrierbar



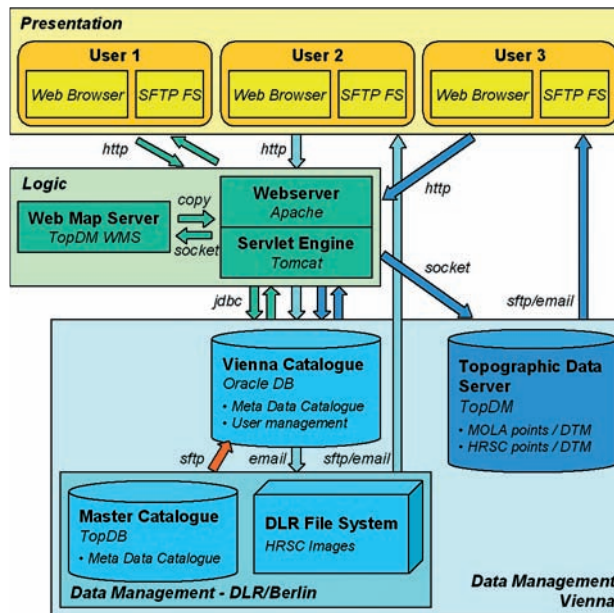


Abb. 2: Architektur des Topographischen Marsinformationssystems.

Bilder, sondern Topographiedaten (Original- oder DGM-Daten) aus vordefinierten Datenbeständen (HRSC, MOLA) erstellt und übertragen.

Die offene Definition der Schnittstellen ermöglicht überdies, WMS-konforme externe Applikationen in den TMIS-Service einzubinden. So kann jede batch-kompatible Software integriert werden. Dadurch können beispielsweise vom TDS abgefragte Originaldaten der Geländemodellsoftware SCOP++ (<http://www.ipf.tuwien.ac.at/products/>) übergeben und bearbeitet werden. Das Ergebnis wird anschließend zum User übertragen.

Zur Darstellung der Footprints (Umfahrungspolygone) der verwalteten HRSC-Bilder wurde eine kartenbasierte Benutzerschnittstelle realisiert. Wie in Abschnitt 3 beschrieben, wurden zwei unterschiedliche Technologien implementiert: Ein statischer, bildbasierter Web Map Service sowie eine dynamische, SVG-basierte Lösung. Eine Gegenüberstellung der beiden Lösungen wurde in Abschnitt 4 gegeben.

## 6 Zusammenfassung

Standardkonforme Web Services und darauf aufbauende Web Applikationen bieten neue Möglichkeiten im Bereich der Softwareentwicklung. An Stelle einer universellen, Stand-Alone-Softwarelösung können so individuell angepasste, modular aufgebaute Applikationen realisiert werden. Unterstützt wird diese Entwicklung auch durch den derzeitigen Boom von Open-Source (OS) Projekten (<http://www.opensource.org/>). OS Lösungen setzen meist auf offenen, standardisierten Schnittstellen auf und können somit einfach miteinander verknüpft werden.

Obwohl TMIS zum Teil auf proprietären Softwarelösungen aufbaut, wurde versucht die Richtlinien für standardisierte Web Services einzuhalten. Dies bietet nun einerseits die Möglichkeit, das System modular um weitere Funktionen zu erweitern, andererseits können so externe Services integriert werden.

Zur Zeit werden etwa 1.500 GB an Bild-daten mit TMIS verwaltet und den am Pro-

jekt *HRSC on Mars Express* beteiligten Forschungsgruppen zur Verfügung gestellt. Nach mittlerweile zwei Jahren operationellem Betrieb ist die Entwicklungsarbeit am TMIS weitgehend abgeschlossen, und es gilt den Betrieb zu sichern. Die aktuellen, mars-relevanten Forschungstätigkeiten am I.P.F. liegen im Bereich der Geländemodellierung aus HRSC-Objektpunkten. ATTWENGER et al. (2005) beschreiben erste Ergebnisse.

## Danksagung

Die Finanzierung der Projektbeteiligung erfolgte in der Vorbereitungszeit der Mission (2001 bis Dez. 2003) durch das *Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT)* unter der GZ 190.174/2-V/B/10/2000. Seither wird das I.P.F. durch die Österreichische ForschungsförderungsgesmbH (FFG) (vormals: Austrian Space Agency, ASA) finanziert (DOK.-Nr.: ASAP-CO-005/04). Der Autor möchte sich auch bei den Verwaltern der Hinterlassenschaft Herrn Prof. NEUMAIERS bedanken, da er im Zeitraum von 2001 bis 2003 durch ein Stipendium aus dieser Stiftung unterstützt wurde.

## Literaturverzeichnis

- ATTWENGER, M. et al., 2005: Klassifikation von HRSC Objektpunkten zur Generierung hochwertiger Geländemodelle der Marsoberfläche. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2005** (5): 395–402.
- COX, S., DAISEY, P., LAKE, R., PORTELE, C. & WHITESIDE, A. (Eds.), 2003: OpenGIS® Geography Markup Language (GML) Implementation Specification. – Version 3.00, OGC 02–023r4, OpenGIS Consortium, Inc., 29 January 2003.
- DORNINGER, P., 2004: A Topographic Mars Information System – Concepts for Management, Analysis and Visualization of Planet-Wide Data. – 114 S., Dissertation am I.P.F., Technische Universität Wien. <http://www.ub.tuwien.ac.at/diss/AC04223140.pdf>
- DORNINGER, P., JANSKA, J. & BRIESE, C., 2004: Visualizations and Analysis of Mars Surface. – *Planetary Space Journal* **52** (1–3), January–March 2004: 249–257.
- DORNINGER, P., 2005: Methoden zur Analyse und Visualisierung der Topographie am Beispiel des Planeten Mars. – *Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation (VGI)* **93** (2).
- DOYLE, A. & CUTHBERT, A., 1998: Essential Model of Interactive Portrayal. – OpenGIS Project Document 98–061.
- FERRAILOLO, J., FUJISAWA, J. & JACKSON, D., (Eds.), 2003: Scalable Vector Graphics (SVG) 1.1 Specification. – W3C Recommendation 14 January 2003.
- HOCHSTÖGER, F., 1996: Software for Managing Country-Wide Digital Elevation Data. – *International Archives for Photogrammetry and Remote Sensing XXXI, Part B2*: 160–163; Vienna.
- HEUER, A. & SAAKE, G., 2000: Datenbanken: Konzepte und Sprachen. – 2. Aufl., 504 S., mitp-Verlag, Landsberg.
- KRAUS, K., 2000: Topographische Informationssysteme. – *Photogrammetrie*, Band 3, 1. Aufl., 419 S., Dümmler-Verlag, Bonn.
- KREGER, H., 2001: Web Services Conceptual Architecture (WSCA 1.0). – IBM Software Group, May 2001, S. 6.
- LOITSCH, J. & MOLNAR, L., 1991: A Relational Database Management System with Topological Elements and Topological Operators. – In: *Proceedings of Spatial Data 2000*, Department of Photogrammetry and Surveying, University College London, S. 260–269.

## Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. Dr. techn. PETER DORNINGER  
Technische Universität Wien, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (I.P.F.),  
Gusshausstraße 27–29, A-1040 Wien.  
e-mail: pdo@ipf.tuwien.ac.at

Prof. Dr. GERHARD NEUKUM  
Freie Universität Berlin, Institut für Geologische Wissenschaften/Planetologie  
Malteserstraße 74–100, D-12249 Berlin  
e-mail: gneukum@zedat.fu-berlin.de

Manuskript eingereicht: Juni 2005

Angenommen: Juli 2005



## Das kartographische Softwarepaket *Planetary Image Mapper* (PIMap)

STEPHAN GEHRKE, Berlin; GERHARD NEUKUM und das HRSC Co-Investigator Team

**Keywords:** cartography, software, Mars, Mars Express, HRSC, image maps

**Zusammenfassung:** Der *Planetary Image Mapper* (PIMap) ist ein Softwaresystem zur automatischen Erstellung planetarer Bildkarten. PIMap wird seit 2001 im Rahmen des Vorhabens *High Resolution Stereo Camera (HRSC) on Mars Express Orbiter* an der *Technischen Universität Berlin* entwickelt und innerhalb des *HRSC Co-Investigator Teams* eingesetzt.

Auf der Grundlage von Bilddaten (Orthophotomosaik), Digitalen Geländemodellen sowie zusätzlichen Informationen, z. B. über topographische Namen, lassen sich mit PIMap digitale Kartenprodukte generieren. Dabei bietet die umfangreiche, detaillierte Programmsteuerung flexible Gestaltungsmöglichkeiten. Verschiedene Koordinatensysteme auf frei definierbaren Bezugskörpern sowie eine Reihe gängiger Kartenprojektionen werden unterstützt. Besonderheiten der planetaren Kartographie sind – auch über den Mars hinausgehend – berücksichtigt und integriert. Damit bietet PIMap die Möglichkeit, hochwertige Karten verschiedener Himmelskörper herzustellen.

Die Software ist sowohl unter *Microsoft Windows* als auch unter *Linux* Betriebssystemen lauffähig.

**Summary:** The cartographic software system “*Planetary Image Mapper*” (*PIMap*). *PIMap* is a software system for the automatic generation of planetary image maps. The software was developed since 2001 at the *Technical University of Berlin* as part of the experiment *High Resolution Stereo Camera (HRSC) on Mars Express Orbiter*; it is now in use within the *HRSC Co-Investigator Team*.

Based on image data (orthoimage mosaics), Digital Terrain Models as well as additional information, e. g. on existing nomenclature, with *PIMap* digital map products can be generated. Flexible cartographic design is provided by means of the comprehensive and detailed program control. Different coordinate systems on custom defined reference bodies as well as many commonly used map projections are supported. The characteristics of planetary cartography – even beyond Mars – are considered and integrated. Therefore, *PIMap* provides the possibility to generate high quality maps of different celestial bodies.

The software is executable under both *Microsoft Windows* and *Linux* environments.

---

### 1 Einleitung

Das kartographische Softwarepaket *Planetary Image Mapper* (PIMap) dient zur Herstellung von planetaren topographischen Karten. Diese basieren in der Regel auf Bilddaten, ergänzt durch die Geländedarstellung in Form von Höhenlinien und Beschriftungen von Oberflächenformen. Sämtliche Raster- und Vektordaten eines Kartenblatts werden in PIMap generiert und „in einem

Schritt“ integriert. Insbesondere diese Automatisierung stellt einen wesentlichen Fortschritt in der planetaren Kartographie dar (ALBERTZ et al. 2004).

Die Software wurde konzipiert, um innerhalb der *Mars Express* Mission aus den photogrammetrisch prozessierten HRSC-Bilddaten (SCHOLTEN et al. 2005) die Blätter der *Topographic Image Map Mars 1:200 000* (LEHMANN et al. 2005) weitgehend automatisch generieren zu können. Auf Grund sei-

nes in den Abschnitten 2 und 3 erläuterten Funktionsumfangs ist PIMap allgemein für die Produktion topographischer Karten einsetzbar. So kann es außer für den Mars auch für andere Himmelskörper – z. B. für Satellitenbildkarten der Erde – angewendet werden.

Für die thematische Kartographie dient PIMap zur Erstellung digitaler Basiskarten. Auf dieser Grundlage werden interaktiv thematische Informationen abgeleitet und kartographisch ausgearbeitet.

Das Softwarepaket PIMap wird seit Ende 2001 an der Technischen Universität Berlin in der Programmiersprache ANSI C++ entwickelt; es ist unter den Betriebssystemen *Microsoft Windows* und *Linux* lauffähig. Dies ermöglicht – neben der Kartenproduktion an der TU Berlin – den breiten Einsatz innerhalb des *HRSC Co-Investigator Teams*. Nähere Informationen zu topographischen und thematischen Karten der Mars-Oberfläche, wie sie unter Verwendung von PIMap angefertigt werden, geben der Abschnitt 4 im Überblick sowie LEHMANN et al. (2005) detailliert.

## 2 Funktionsumfang und Steuerung von PIMap

Im Mittelpunkt der Software PIMap steht die Steuerdatei, in der sämtliche für den Programmablauf benötigte Parameter anzugeben sowie Eigenschaften, Form und Inhalte des zu erstellenden Kartenblatts festzulegen sind. Analog zu *Microsoft Windows* Konfigurationseinstellungen (\*.ini) ist diese Datei aus einzelnen Sektionen aufgebaut, in denen an Hand von Schlüsselwörtern die einzelnen Elemente eines Kartenblattes definiert sowie allgemeine Einstellungen vorgenommen werden.

Abhängig vom gewünschten Karteninhalt (Abschnitt 3) müssen weitere Eingangsdateien zur Verfügung stehen. Zusammenfassend können zur Kartenerstellung die folgenden Daten verarbeitet werden:

- Steuerdatei (obligatorisch)
- Orthobildmosaik
- Digitales Geländemodell (DGM)

- Topographisches Namensgut
- Landeplätze von Missionen
- Kartenwerks-Definitionen

Ausgehend von diesen Eingabedaten werden in PIMap die entsprechenden Inhalte generiert und in das Kartenblatt eingepasst. Ergebnis ist eine PDF-Datei, welche sämtliche Vektor- und Rasterdaten dieses Blattes enthält (Abb. 1). Von besonderer Bedeutung ist die nachträgliche Editierbarkeit der einzelnen Objekte, so dass die automatisch generierte Karte mit kommerzieller Software (z. B. *Adobe Illustrator*) kontrolliert und falls nötig weiter bearbeitet werden kann.

PIMap ermöglicht die kartographische Abbildung von ein- und zweiachsigen Bezugskörpern (Rotationsellipsoiden). Eingangskordinaten können dabei planetozentrische oder planetographische ellipsoidische Breiten und östlich oder westlich positive Längen in beliebiger Kombination sein. Neben den üblichen Zylinder-, Kegel- und Azimutalprojektionen ist die Sinusoidalprojektion als Grundlage der *Topographic Image Map Mars 1:200 000* (LEHMANN et al. 2005) integriert. Unabdingbar ist weiterhin die Anwendbarkeit vereinfachter Projektionsvorschriften (sphärische Formeln unter Benutzung ellipsoidischer Brei-

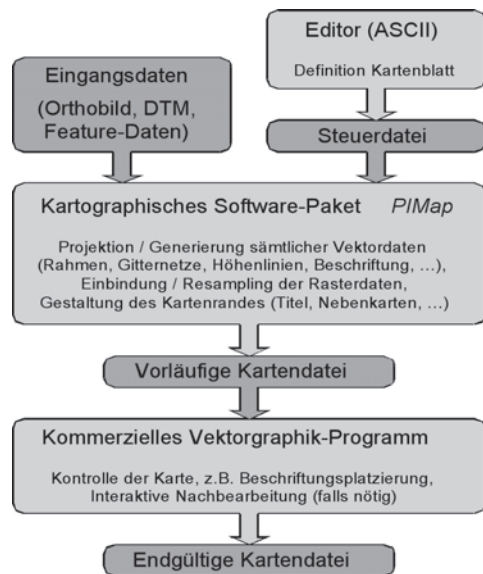


Abb. 1: PIMap Datenfluss-Schema.



ten, z. B. *Simple Cylindrical*), die in der planetaren Kartographie vor allem zur Vorhaltung digitaler Bilddaten (*Database Projections*) verwendet werden – vgl. ALBERTZ et al. (2004).

### 3 Automatische Generierung der einzelnen Kartenbestandteile

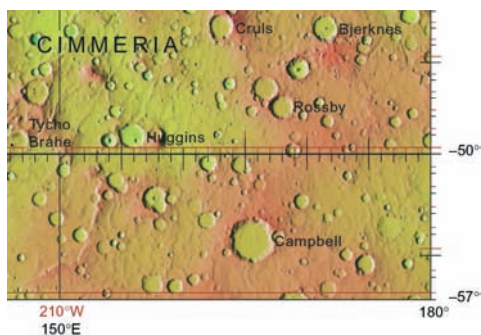
Im Folgenden ist für die wesentlichen Inhalte einer topographischen Bildkarte beschrieben, wie und auf welcher Datengrundlage diese in PIMap generiert werden. Die Abb. 2 und 4 zeigen Kartenbeispiele, die entweder mit PIMap produziert wurden bzw. prinzipiell herstellbar sind.

#### 3.1 Kartenfeld und Gitternetze

Mit PIMap lassen sich Gradabteilungskarten, wie sie in der Planetenkartographie gebräuchlich sind (vgl. GREYLEY & BATSON 1990), in beliebiger Lage und Größe erstellen. Durch die Festlegungen der Länge und Breite des Blattzentrums, der Blattausdehnungen und des Kartenmaßstabs wird das Kartenfeld eindeutig bestimmt. Sowohl die Kartenfeldrandlinie (Blattschnitt) als auch die dargestellten Gitternetze können auf beliebigen Kombinationen der ellipsoidischen Breiten- und Längensysteme basieren.

PIMap bietet die Möglichkeit, theoretisch beliebig viele Gitternetze mit ihren Darstellungseigenschaften zu definieren. Dies erlaubt die Integration verschiedener Koordinatensysteme in ein Kartenblatt, wie in Abb. 2 gezeigt. Hier handelt es sich um eine vom *United States Geological Survey* (USGS) herausgegebene Mars-Karte, in der neben dem Standardsystem planetozentrischer Breiten und östlich positiver Längen auch planetographische Breiten und westlich positive Längen dargestellt sind. Diese Karte kann gleichermaßen mit PIMap generiert werden (vgl. auch Abb. 4).

Über mehrere geeignete Gitternetz-Definitionen lässt sich weiterhin ein- und dasselbe Koordinatensystem differenziert repräsentieren – z. B. durch ein grobmaschiges Raster von Gitterlinien, ergänzt durch enger gestaffelte Gitterkreuze und/oder Randstri-



**Abb. 2:** Verkleinerter Ausschnitt der „Topographic Map of Mars, M 25M RKN“ (USGS, 2005).

che; analog ist auch die Beschriftung selektiv steuerbar (vgl. Abb. 2). Auf diese Weise wird vermieden, dass Netzlinsen das Kartenfeld dominieren. Zugleich erleichtern aber Gitterkreuze die Orientierung und das Abgreifen von Koordinaten.

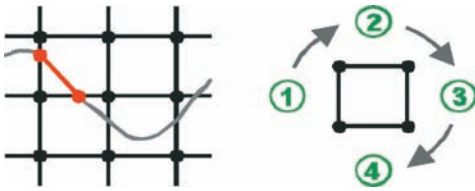
#### 3.2 Einpassen der Bilddaten

Die Bildgrundlage einer Karte wird in PIMap aus einem Orthophotomosaik als Ergebnis einer photogrammetrischen Prozessierung (z. B. SCHOLTEN et al. 2005) erstellt. Diese Daten können entweder in den gebräuchlichen Formaten *TIFF*, *JPEG*, etc. oder auch in *VICAR* (MIPL 2005), in der Regel mit 8 Bit Farbtiefe für jeden RGB-Kanal, gegeben sein. Während letzteres die Georeferenzierung beinhaltet, muss ergänzend zu den anderen Bildformaten eine separate ASCII-Datei vorliegen, welche das entsprechende *VICAR*-Label enthält.

Bei der Einpassung der Bilddaten werden Projektion und Maßstab dem Kartenfeld angepasst. So lassen sich beliebige Datensätze, die in ihrer Lage und Auflösung den Ansprüchen genügen, ohne vorherige Transformationen direkt in das zu erstellende Kartenblatt integrieren. Das notwendige Resampling kann entweder nach nächster Nachbarschaft oder bilinear erfolgen.

#### 3.3 Ableitung von Höhenlinien

Höhenlinien als Repräsentation der Geländeoberfläche werden in PIMap aus einem



**Abb. 3:** Ableitung von Höhenlinien. Links: Linienerlauf als Punktepaare in DGM-Maschen. Rechts: Punktbestimmung innerhalb einer Masche.

gegebenen Digitalen Geländemodell (DGM) abgeleitet. Das DGM kann – ähnlich wie die Bilddaten (Abschnitt 3.2) – im VICAR-Format oder als RAW-Datei mit separatem ASCII-Label, üblicherweise mit 16 Bit pro Rasterpunkt, vorliegen (vgl. GWINNER et al. 2005). Während die Lage der berechneten Höhenlinien automatisch den Projektionsparametern des Kartenblatts angepasst wird, ist das Höhenbezugs-system durch das DGM vorgegeben.

Für die Ableitung der Höhenlinien werden im gegebenen quadratischen DGM-Raster Punkte identischer Höhen (in benutzerdefinierten Höhenleveln) berechnet. Dies erfolgt maschenweise im Uhrzeigersinn, so dass innerhalb der betreffenden Maschen Linienabschnitte als Punktepaare (Ein- und Austritt der Linie) vorliegen. An Hand der Topologie der Maschen werden aus diesen Punktepaaren schließlich zusammenhängende Höhenlinien gebildet (Abb. 3).

Für die automatische Beschriftung wird die betreffende Höhenlinie in Abhängigkeit von der Schriftbreite unterbrochen und die Höhenlinienzahl in Linierrichtung platziert. Die Schrift lässt sich dabei wahlweise nach Lesbarkeit von unten/rechts oder in Anlehnung an deutsche Zeichenvorschriften mit dem Fuß talwärts ausrichten. Die dazu erforderliche Richtung des Gefälles (orthogonal zur Höhenlinie) wird bei der Punktepaarberechnung mitbestimmt. Damit können dann auch kurze, unbeschriftete Höhenlinien in Kesselformen identifiziert und zur eindeutigen Kennung mit einem Kesselpfeil versehen werden (Abb. 4).

Bei der Gestaltung des Höhenlinienbildes bietet PIMap die Möglichkeit, verschiedene

Äquidistanzen mit ihren Geltungsbereichen, Linien- und Schrifteigenschaften festzulegen, so dass Zähllinien, Haupt- und Hilfhöhenlinien unterschieden werden können. Durch die Beschränkung auf bestimmte Höhenschichten lassen sich z. B. steile Kraterwände und tiefer gelegene, vergleichsweise ebene Kraterböden mit entsprechend angepassten, unterschiedlichen Äquidistanzen darstellen, um so ein kartographisch ansprechendes Höhenlinienbild zu generieren.

Die Qualität der in PIMap abgeleiteten Höhenlinien ist direkt vom gegebenen DGM abhängig. Eventuell auftretende Ungenauigkeiten müssen nachträglich korrigiert oder betroffene Linienabschnitte interaktiv ausgespart werden.

### 3.4 Topographische Namen

Benannte planetare Oberflächenformen (Features) können mit PIMap automatisch beschriftet werden. Einen umfassenden Datensatz der topographischen Namen auf allen Himmelskörpern stellt das USGS (2005) innerhalb des *Gazetteer of Planetary Nomenclature* bereit; hier sind für jedes Feature (Krater, Tal usw.) neben seinem Namen das Zentrum sowie die Ausdehnung in Länge und Breite, die Größe (Durchmesser) und der jeweilige Featuretyp gegeben. An Hand dieser Daten wird ermittelt, ob ein Feature in dem zu erstellenden Kartenblatt liegt bzw. teilweise in dasselbe hineinreicht und gegebenenfalls die Beschriftung platziert. Dabei erlaubt PIMap individuelle Schriftdefinitionen in Abhängigkeit von Featuretyp und -größe. Oberflächenformen unterhalb bestimmter Mindestgrößen (z. B. in globalen Karten) oder einzelne Typen (üblicherweise Albedo-Features) können so auch unbeschriftet bleiben.

Bei der Betrachtung der relativ grob spezifizierten Lagedaten (siehe oben) wird deutlich, dass insbesondere sehr große und gestreckte Oberflächenformen wie Täler evtl. an der falschen Position beschriftet werden – zum Teil auch, obwohl sie gar nicht im bearbeiteten Kartenblatt liegen. Weiterhin sollten Beschriftungen keine relevanten

Bildinhalte verdecken und beispielsweise Talverläufen folgen (vgl. Abb. 4). Beides kann nur aus den gegebenen Daten nicht realisiert werden und bedarf einer interaktiven Nachbearbeitung, insbesondere auch unter Berücksichtigung der zu Grunde liegenden Bilddaten. Dabei können Beschriftungen dem jeweiligen Objektverlauf angepasst werden (vgl. Abb. 4).

Analog zu den Oberflächenformen können Landeplätze von Mond- bzw. Mars-Missionen automatisch beschriftet und mit einer Signatur versehen.

### 3.5 Kartentitel und Blattbezeichnung

Kartengattung (Titel des Kartenwerks), Blattname und -bezeichnung werden in PIMap nach den Benutzervorgaben platziert.

Die Bezeichnung planetarer Kartenblätter besteht aus den *Sheet Designator Terms* nach GREYLEY & BATSON (1990), d. h. Kodierungen des Himmelskörpers, des Kartenmaßstabs, der Breite und Länge des Blattzentrums sowie des Kartentyps; diese werden automatisch generiert und zusammengestellt. Topographische (*T*) Karten auf der Basis eines farbigen (*K*) Orthophotomosaiks (*OM*), wie sie mit PIMap generiert werden können, haben beispielsweise die Typenkodierung *OMKT* (Abb. 4).

Der Blattname von Rahmenkarten kann automatisch der Definition des Kartenwerks (ASCII-Datei) entnommen werden.

### 3.6 Gestaltung des Kartenrandes

Innerhalb des Kartenrandes können mit PIMap verschiedene Legenden-Blöcke generiert werden, die Informationen über die Projektionsparameter und dargestellten Koordinatensysteme, den Kartenmaßstab sowie über die Eigenschaften der zu Grunde liegenden Bild- und DGM-Daten geben.

An Hand der das Kartenwerk definierenden ASCII-Datei kann automatisch eine Blattübersicht erstellt werden, welche die Hauptkarte im Kontext ihrer Nachbarblätter zeigt. Zusätzlich – z. B. für die globale Einordnung großmaßstäbiger Karten – ist die Lageangabe bezüglich eines übergeord-

neten Kartenwerks zweckmäßig; sie wird aus einer entsprechenden Kartenwerksdefinition abgeleitet.

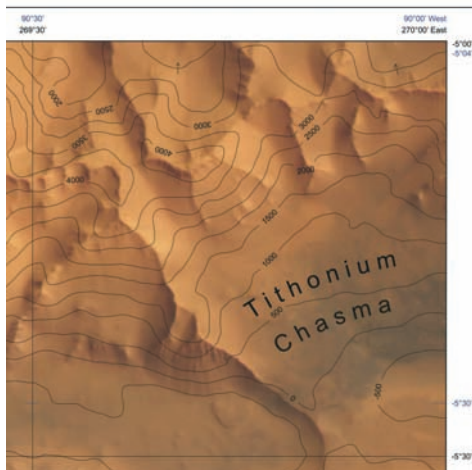
## 4 PIMap in der Mars-Kartographie

In Vorbereitung auf den operationellen Einsatz innerhalb der *Mars Express* Datenauswertung wurde das Softwarepaket PIMap bereits für die Anfertigung verschiedener exemplarischer Kartenblätter auf der Basis von Bilddaten älterer Missionen getestet (vgl. GEHRKE et al. 2003).

Seit 2004, mit der Aufnahme und systematischen Prozessierung der ersten HRSC-Bilddaten (SCHOLTEN et al. 2005), werden an der TU Berlin und im *HRSC Co-Investigator Team* topographische Bildkarten ausgewählter Regionen produziert (LEHMANN et al. 2005). Abb. 4 zeigt einen Ausschnitt aus einem mit PIMap erstellten Blatt der *Topographic Image Map Mars 1:200 000*.

Die in PIMap generierten topographischen Bildkarten sind Grundlage für thematische Interpretationen und damit auch für thematische Karten (LEHMANN et al. 2005).

### M 200k 6.00S/269.00E OMKT



**Abb. 4:** Topographic Image Map Mars 1:200 000 – M 200k 6.00N/269.00E OMKT – Tithonium Chasma Region, verkleinerter Ausschnitt.

## 5 Fazit und Ausblick

Mit PIMap liegt ein kartographisches Softwarepaket vor, das sämtliche Inhalte einer planetaren topographischen Bildkarte erstmals gemeinsam automatisch generiert und/oder in das Blatt einpasst. Ergebnis ist eine digitale Karte, die – mit wenigen interaktiven Abschlussarbeiten – ein qualitativ hochwertiges Produkt darstellt. Der operationelle Einsatz bei der Kartenherstellung innerhalb der Mars Express Mission unterstreicht die Leistungsfähigkeit von PIMap. Dass das System prinzipiell für alle Planeten und Monde eingesetzt werden kann, hat sich bereits bei der Herstellung einzelner Karten von Saturn-Monden in Vorbereitung auf die Mission *Cassini* gezeigt.

Erweiterungen der Software sind insbesondere für die Anwendung in der thematischen Kartographie geplant. Während die notwendigen topographischen Basiskarten bereits mit PIMap generiert werden, ist die Einbringung der sehr individuellen thematischen Informationen nur bedingt automatisierbar. Beispielsweise ließen sich aber beliebige lagebezogene Punkt- oder Vektordaten ähnlich der Platzierung topographischer Namen automatisch in ein Kartenblatt integrieren.

## Danksagung

Das Softwarepaket PIMap wurde im Rahmen des Vorhabens *High Resolution Stereo Camera (HRSC) on Mars Express Orbiter* entwickelt. Das Projekt wird durch das *Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt* aus Mitteln des *Bundesministeriums für Bildung und Forschung* gefördert.

## Literatur

ALBERTZ, J., GEHRKE, S., LEHMANN, H. et al., 2004: Digital Cartography with HRSC on Mars Express. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing XXXV (B4)*: 869–874.

GEHRKE, S., LEHMANN, H., SCHUMACHER, T., ALBERTZ, J. & WÄHLISCH, M., 2003: Cartography with HRSC on Mars Express: A Specimen Sheet for the New Series "Topographic Image Map Mars 1:200,000". – *ISPRS WG IV/9 Extraterrestrial Mapping Workshop – Advances in Planetary Mapping*, Houston.

GREYLEY, R. & BATSON, R. M., 1990: *Planetary Mapping*. – Cambridge University Press, Cambridge.

GWINNER, K. et al., 2005: Hochauflösende Digitale Geländemodelle auf der Grundlage von Mars Express HRSC-Daten. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2005** (5): 387–394.

LEHMANN, H. et al., 2005: Großmaßstäbige topographische und thematische Mars-Karten. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2005** (5): 423–428.

MIPL, 2005: *Multimission Image Processing Laboratory: The VICAR Image Processing System*. – [www.mipl.jpl.nasa.gov](http://www.mipl.jpl.nasa.gov) (27.05. 2005).

SCHOLTEN, F. et al., 2005: Von Rohdaten aus dem Mars Express Orbit zu digitalen Geländemodellen und Orthobildern – Operationelle Verarbeitung von HRSC-Daten. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2005** (5): 365–372.

USGS, 2005: *Astrogeology Research Program: Data & Information*. – [astrogeology.usgs.gov](http://astrogeology.usgs.gov) (27.05. 2005).

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. STEPHAN GEHRKE  
Technische Universität Berlin, Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik, Sekr. H 12,  
Straße des 17. Juni 135, D-10623 Berlin  
e-mail: [stephan@fpk.tu-berlin.de](mailto:stephan@fpk.tu-berlin.de)

Prof. Dr. GERHARD NEUKUM  
Freie Universität Berlin, Institut für Geologische Wissenschaften/Planetologie  
Malteserstr. 74–100, D-12249 Berlin  
e-mail: [gneukum@zedat.fu-berlin.de](mailto:gneukum@zedat.fu-berlin.de)

Manuskript eingereicht: Juni 2005  
Angenommen: Juli 2005

## Großmaßstäbige topographische und thematische Mars-Karten

HARTMUT LEHMANN, STEPHAN GEHRKE, JÖRG ALBERTZ, MARITA WÄHLISCH, Berlin;  
GERHARD NEUKUM und das HRSC-Co-Investigator Team

**Keywords:** cartography, Mars, HRSC, cartography, topographic maps, image maps, thematic maps

**Zusammenfassung:** Die Herstellung von Karten der Marsoberfläche ist eines der Ziele des Kameratelexperiments *HRSC on Mars Express*. Als kartographisches Hauptprodukt ist die *Topographic Image Map Mars 1:200 000* definiert worden. Es ist das erste großmaßstäbige Kartenwerk, das den Planeten Mars systematisch erfasst. Die Blätter werden aus DGMs und farbigen Orthobildmosaiken abgeleitet. Dieser Beitrag beschreibt die kartographischen Grundlagen und die wichtigsten Aspekte der Kartengestaltung. Außerdem wird ein Beispiel für eine thematische Kartierung auf der Grundlage von Bildkarten gezeigt.

**Summary:** *Topographic and thematic maps of Mars in large scales.* The generation of maps is one of the primary objectives of the experiment *HRSC on Mars Express*. As the main product the *Topographic Image Map Mars 1:200 000* has been defined. This is the first program for mapping the planet Mars systematically in large scale. The map sheets are derived from DTMs and ortho-image mosaics in color. This paper describes the cartographic principles and the most important aspects of the cartographic design. Furthermore a thematic map is presented which shows geological interpretation results displayed on the background of an image map.

---

### 1 Einleitung

Die *High Resolution Stereo Camera* (HRSC) liefert multispektrale, hoch auflösende Bild-daten des Planeten Mars in systematischer Stereoabdeckung, die für die photogrammetrische Auswertung sowie für kartographische Anwendungen prädestiniert sind (ALBERTZ et al. 2005).

Wichtige Vorarbeiten zur kartographischen Nutzung der HRSC-Daten wurden bereits während der Vorbereitung der gescheiterten Mission *Mars'96* geleistet. Eine internationale Arbeitsgruppe hatte sich intensiv mit der Gestaltung eines neuen großmaßstäbigen Kartenwerks befasst, das auch die Grundlage für die künftige Marsforschung bilden sollte. Als Ergebnis wurde die *Topographic Image Map Mars 1:200,000* definiert (LEHMANN et al. 1997). Das Grundkonzept für das neue Mars-Kartenwerk ist

nach wie vor gültig, es wurde aufgrund neuer Erkenntnisse – z. B. Definitionen der Referenzsysteme – aktualisiert. Im Folgenden werden die Grundlagen zur Gestaltung der topographischen und thematischen Karten erläutert.

### 2 Das kartographische Konzept

Die kartographischen Grundlagen für das Kartenwerk *Topographic Image Map Mars 1:200 000* werden hier zusammenfassend beschrieben. Weitere Details sind z. B. von GEHRKE et al. (2003) und ALBERTZ et al. (2004) veröffentlicht worden.

#### 2.1 Bezugssysteme

Die Lagekoordinaten auf dem Mars beziehen sich auf ein Rotationsellipsoid, welches im Massenzentrum gelagert ist. Laut Defi-



nition durch die *Internationale Astronomische Union* (IAU) beträgt die Länge der äquatorialen Halbachse 3396,19 km, die der polaren Halbachse 3376,20 km (SEIDELMANN et al. 2004). Entsprechend den internationalen Festlegungen bilden planetozentrische Breiten in Kombination mit östlich positiv gezählten Längen das laterale Referenzsystem auf der Marsoberfläche. Als Längenbezug dient der durch den Krater Airy-0 festgelegte Meridian.

Für den Höhenbezug auf dem Mars ist eine Äquipotentialfläche des Schwerefeldes, das so genannte Areoid, definiert (SEIDELMANN et al. 2004).

## 2.2 Kartenmaßstab

Bei der Wahl des Maßstabes wurde berücksichtigt, dass die früheren Karten kleinerer und mittlerer Maßstäbe durch ein großmaßstäbiges Kartenwerk ergänzt werden, das die aus den HRSC-Bilddaten zu gewinnenden Geländemodelle und Orthobilder im Maßstab 1:200 000 in optimaler Weise wiedergibt.

## 2.3 Kartenprojektionen

Während bei den meisten der in kleineren Maßstäben erstellten Karten konforme Projektionen – Mercator, Lambertsche Kegelprojektion bzw. Stereographische Projektion – Anwendung fanden, wurden für die *Topographic Image Map Mars 1:200 000* flächentreue Abbildungen gewählt. Der größte Teil der Planetenoberfläche, der Bereich zwischen 85° nördlicher und 85° südlicher Breite, wird in der *Simusoidalprojektion* kartiert. Die polnahen Gebiete werden in der *Flächentreuen Lambertschen Azimutalprojektion* wiedergegeben. Dabei wird jedes Kartenblatt auf einen eigenen, in der Blattmitte liegenden Meridian bezogen. Aufgrund dieser individuellen Projektionsparameter treten in dem großen Maßstab lediglich marginale Verzerrungen auf.

## 2.4 Blattschnitt

Jedes Kartenblatt deckt in der Breite 2° ab. Die Längenausdehnung in Grad nimmt zu

den Polen hin zu, wird also schrittweise der Meridiankonvergenz angepasst. Deshalb wächst sie von 2° am Äquator bis 360° an den Polen. Durch diese Festlegungen werden alle Karten ungefähr gleich groß. Insgesamt wird die Marsoberfläche in 10 372 einzelne Kartenblätter eingeteilt.

Diese Definitionen sind so gewählt, dass das Blattschnittsystem auch die Basis für weitere Kartenprodukte bilden kann. Karten der Maßstäbe 1:100 000 und 1:50 000 lassen sich – ähnlich wie im System der amtlichen topographischen Kartenwerke in Deutschland – aus dem Maßstab 1:200 000 systematisch ableiten. Bei Bedarf können nach den gleichen Abbildungsgesetzen auch Kartenblätter ausgewählter Regionen oder anderer Maßstäbe erstellt werden. Dank dieser Flexibilität wird das moderne Kartenwerk *Topographic Image Map Mars 1:200 000* auch die Grundlage für die zukünftige Marskartographie bilden.

## 3 Karteninhalte und Layout

Im Folgenden werden die Inhalte eines Kartenblattes kurz beschrieben. Sämtliche Komponenten können mit dem Softwarepaket PIMap automatisch generiert werden (GEHRKE et al. 2005).

### 3.1 Bilddaten

Die Basis der *Topographic Image Map Mars 1:200 000* sind Bilddaten der Marsoberfläche, d. h. farbige Orthobildmosaiken, die durch das HSRC Co-Investigator Team aus den Bilddaten abgeleitet werden (SCHOLTEN et al. 2005). Für die Einbindung als Kartengrundlage werden die Bilddaten dem Blattschnitt entsprechend zugeschnitten und – falls erforderlich – umprojiziert.

### 3.2 Höhenlinien

Die im Rahmen des Projektes berechneten DGMs der Mars-Oberfläche stehen als Rasterdaten zur Verfügung (SCHOLTEN et al. 2005). Daraus werden durch Interpolation die gewünschten Höhenlinien abgeleitet. Die zweckmäßige Äquidistanz wird nach

dem Kartenmaßstab und der Reliefenergie des jeweiligen Gebietes so gewählt, dass ein aussagekräftiges Höhenlinienbild entsteht. In Anlehnung an amtliche topographische Kartenwerke in Deutschland werden die Höhenlinien so beschriftet, dass Höhenzahlen mit dem Fuß talwärts gerichtet sind. Um bei geschlossenen Formen Senken von Bergkuppen unterscheiden zu können, werden entsprechende Linien mit einem Kesselpfeil versehen (vgl. Abb. 4 in GEHRKE et al. 2005).

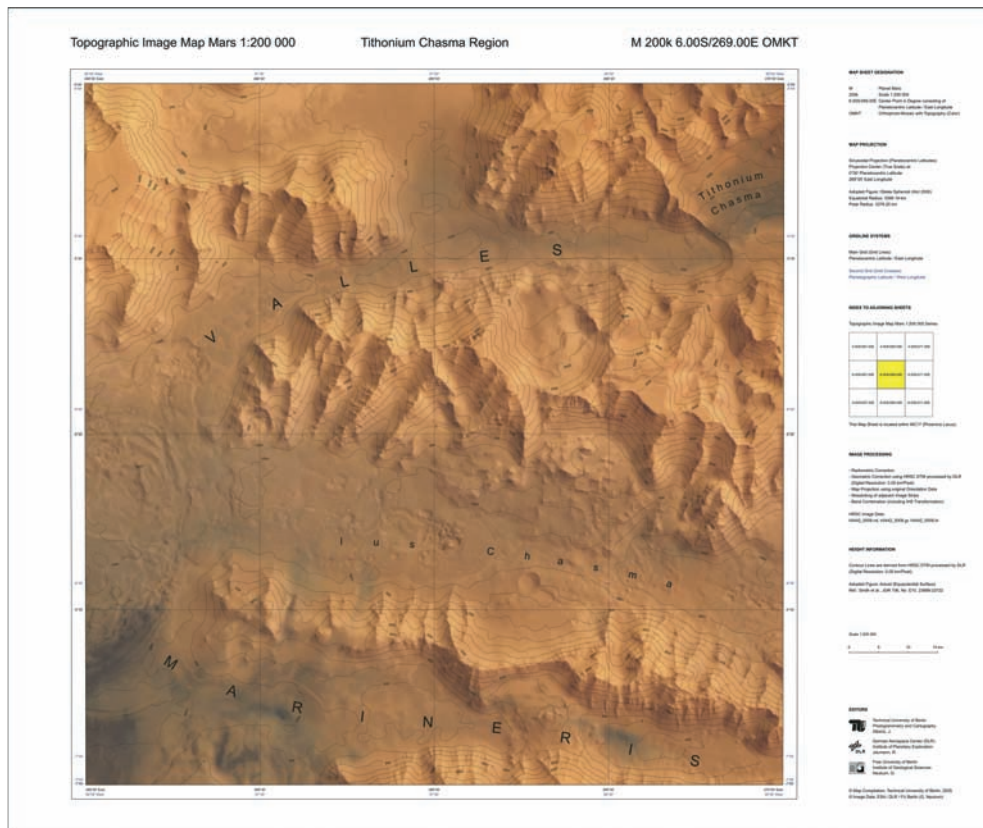
### 3.3 Gitternetze

Da für den Blattschnitt der *Topographic Image Map Mars 1:200 000* die planetozentrischen Breiten und östlichen Längen maßgebend sind, bilden diese Größen auch das Hauptgitternetz in den Kartenblättern. Sie werden als Gitterlinien im Abstand von  $0,5^\circ$

wiedergegeben (in Polnähe werden die Meridiane wegen ihrer Konvergenz ausgedünnt). Zusätzlich werden planetographische Breiten in Kombination mit westlichen Längen angegeben, welche vor 2003 für Marskarten benutzt wurden. Dieses zweite Gitternetz wird dezent in Form von farbigen Gitterkreuzen und Randstrichen markiert. Die Darstellung beider Gitternetze zur leichteren Zuordnung früherer Koordinatangaben aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen ist in der Mars-Kartographie üblich.

### 3.4 Nomenklatur

Die Nomenklatur für geologische und morphologische Einheiten auf dem Mars wird durch die IAU geregelt. Bis heute sind mehr als 1500 Oberflächenformen in 24 verschie-



**Abb. 1:** Ein Beispiel für die *Topographic Image Map Mars 1:200 000*, das Blatt »M 200k 6.00S/269.00E OMKT, Tithonium Chasma Region«.

denen Kategorien (Krater, Täler, usw.) benannt. Ein vollständiger, aktueller Datensatz wird vom *United States Geological Survey* (USGS 2005) bereitgestellt. Darüber hinaus enthalten die Karten besondere Signaturen, z. B. Landeplätze einschließlich der Missionsnamen und -daten.

### 3.4 Kartenrandangaben

Die einzelnen Blätter des Kartenwerkes werden oben mit einem Index versehen, zu dem der Kartentyp, die Blattbezeichnung bzw. -nummer sowie ein eindeutiger topographischer Name gehören.

In der Planetenkartographie folgt man allgemein den *Map Sheet Designation Codes* nach GREELEY & BATSON (1990). Eine solche Kennung für ein Kartenblatt der *Topographic Image Map Mars 1:200 000* besteht aus vier Elementen, die den Planeten, den Maßstab, das Blattzentrum und den Kartentyp beschreiben (vgl. Abb. 1). Falls vorhanden, werden die Kartenblätter zusätzlich mit dem Namen einer abgebildeten Oberflächenform versehen.

Innerhalb der Legende werden die grundlegenden Eigenschaften sowie Karteninhalte erläutert. Im Einzelnen betrifft dies die Parameter der Kartenprojektion, des Referenzellipsoids, des Areoids (Höhenbezug) sowie die Gradnetze als Repräsentation der beiden lateralen Referenzsysteme des Mars. Weiterhin werden Informationen zu den verwendeten Bilddaten und Geländemodellen gegeben. Eine Nebenkarte gibt die Lage des Kartenfeldes in Bezug zum Standardkartenwerk an.

## 4 Topographische Karten aus Mars Express Daten

Nach verschiedenen Versuchen, bei denen noch Bilddaten anderer Missionen verwendet werden mussten, konnten schon bald nach der Aufnahme der ersten HRSC-Daten und ihrer Prozessierung durch das DLR im Januar 2004 einige topographische Bildkarten der Marsoberfläche generiert werden. Dabei handelte es sich um Sonderblätter auf der Grundlage des Kartenwerkes *Topographic Image Map Mars 1:200 000*, deren

Lage an die jeweiligen Bildstreifen angepasst wurde (ALBERTZ et al. 2004).

Aufgrund der Aufnahmekonfigurationen der HRSC auf Mars Express ist für die vollständige Abdeckung eines Kartenblattes im Maßstab 1:200 000 – bei 2° bzw. etwa 120 km Längenausdehnung – die Breite eines Bildstreifens in der Regel nicht ausreichend; es sind also Mosaikbildungen benachbarter Streifen erforderlich. Mit der fortschreitenden Erfassung der Mars-Oberfläche liegen zunehmend Überlappungsgebiete vor, so dass bereits wenige Monate nach Missions-Beginn erste Orthobildmosaiken und zugehörige DGMS als Ausgangsdaten für vollständige Kartenblätter prozessiert werden konnten. Auf Basis dieser Daten wurden inzwischen mehrere Blätter im Regelblattschnitt der *Topographic Image Map Mars 1:200 000* generiert. So ist beispielsweise das geologisch interessante Talssystem Mangala Valles durch mehrere Kartenblätter abgedeckt.

## 5 Erste Thematische Karten

Die Analyse der HRSC-Bilddaten durch verschiedene Arbeitsgruppen innerhalb des HRSC Co-Investigator Teams führt zu einer Vielzahl neuer Erkenntnisse und zu beeindruckenden Interpretationsergebnissen, welche in Form von thematischen Karten geeignet dokumentiert werden können.

Thematische Kartenprodukte werden auf der Grundlage topographischer Basiskarten erstellt, z. B. an Hand des Kartenwerkes *Topographic Image Map Mars 1:200 000* oder individuell angefertigter Sonderkarten interessanter Zielgebiete. Dabei müssen die thematischen Informationen – bestehend aus linearen Vektordaten (Grenz-, Form-, Struktur- oder Isolinien), flächenbasierten Raster- oder Vektordaten (z. B. geologische Formationen) und Signaturen – harmonisch in die topographische Basis integriert werden. Die Kombination derartiger heterogener Inhalte stellt nach wie vor eine Herausforderung in der Kartengestaltung dar. In Abhängigkeit von der Struktur der thematischen Daten ist zu entscheiden, in welcher

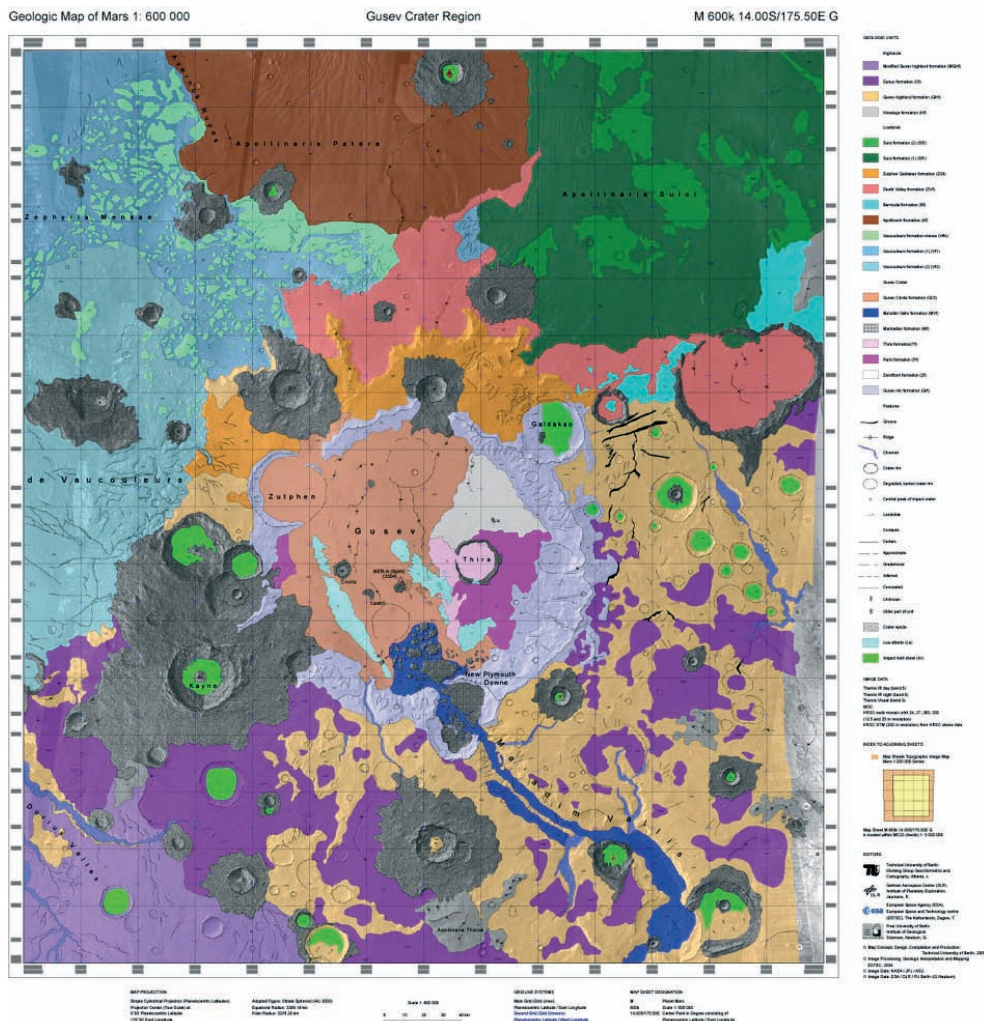


Weise die topographischen Informationen wiedergegeben werden, ob beispielsweise Höhenlinien integriert werden und/oder in welcher Form die Bilddaten der Mars-Oberfläche als Kartengrundlage dienen. Die Gestaltung und Herstellung thematischer Karten ist ein individueller Prozess ist, der von dem jeweiligen Bearbeitungsgebiet und insbesondere von der Art der darzustellenden Thematik abhängig ist.

Während die notwendige topographische Basiskarte mit dem Softwaresystem PIMap generiert werden kann, ist die Integration

thematischer Daten nur zu einem geringen Teil automatisierbar. Üblicherweise nutzen die Wissenschaftler des HRSC Co-Investigator Teams topographische Karten für ihre Interpretationen, d. h. die Daten werden interaktiv aus der digital vorliegenden Basiskarte abgeleitet.

Abb. 2 zeigt als Beispiel eine geologische Karte des Kraters Gusev und seiner Umgebung im Sondermaßstab 1:600.000. In diesem Krater liegt der Landeplatz des amerikanischen *Mars Exploration Rovers Spirit*. Da das untersuchte Gebiet noch nicht voll-



**Abb. 2:** Beispiel für eine u. a. auch aus HRSC-Daten abgeleitete thematische Karte (Geologische Karte der Gusev Crater Region, erstellt in Zusammenarbeit mit Dr. TANJA ZEGERS).

ständig durch die HRSC abgedeckt ist, wurden die geologischen Daten aus HRSC-Bildern und Daten anderer Missionen abgeleitet. Die geologischen Analysen wurden am *European Space Research and Technology Center* (ESTEC) der ESA in Noordwijk/Niederlande durchgeführt und von ZEGERS et al. (2005) präsentiert. Die Konzeption, Gestaltung und Herstellung der thematischen Karte »*Geologic Map of Mars 1:600 000, M 600k 14.00S/175.50E G, Gusev Crater Region*« erfolgte an der TU Berlin. Die topographische Basis ist dabei mit der Software PIMap erstellt worden.

## 6 Ausblick

Mit der Konzeption des neuen Kartenwerks *Topographic Image Map Mars 1:200 000*, der Entwicklung des Software-Paketes PIMap und der Erarbeitung der ersten topographischen und thematischen Karten sind entscheidende Schritte für die großmaßstäbige Kartierung des Planeten Mars getan worden. Auf Grundlage dieser Ergebnisse und Erfahrungen werden systematisch weitere qualitativ hochwertige Karten generiert, um dem zunehmenden Bedarf – sowohl innerhalb des HSRC Co-Investigator Teams als auch für die Planung zukünftiger Mars-Missionen – nachzukommen. Topographische Karten können dabei nahezu vollautomatisch generiert werden. Die eigentliche Hauptarbeit für die flächendeckende Kartierung muss jedoch erst noch geleistet werden.

## Dank

Das Projekt wird durch das *Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt* aus Mitteln des *Bundesministeriums für Bildung und Forschung* gefördert. Die Autoren danken dem HRSC-Team, insbesondere Frau Dr. TANJA ZEGERS (ESTEC) für die konstruktive Zusammenarbeit.

## Literatur

ALBERTZ, J., GEHRKE, S., WÄHLISCH, M., LEHMANN, H. et al., 2004: Digital Cartography with HRSC on MarsExpress. – IAPRS, Vol. XXXV, (B4): 869–874, Istanbul.

- ALBERTZ, J. et al., 2005: HRSC – Die 'High Resolution Stereo Camera' auf Mars Express. – PFG **2005** (5): 361–364.
- GEHRKE, S. et al., 2003: Cartography with HRSC on Mars Express – The New Series 'Topographic Image Map Mars 1:200,000'. – Publikationen der DGPF 12: 451–458.
- GEHRKE, S. et al., 2005: Das kartographische Softwarepaket »Planetary Image Mapper« (PI-Map) – PFG **2005** (5): 417–422.
- GREELEY, R. & BATSON, R. M., 1990: Planetary Mapping. – 296 p., Cambridge University Press, Cambridge.
- LEHMANN, H., SCHOLTEN, F., ALBERTZ, J., WÄHLISCH, M. & NEUKUM, G., 1996: Mapping a Whole Planet – The New Topographic Image Map Series 1:200,000 for Planet Mars. – Proceedings 18th International Cartographic Conference, Stockholm 1997, Vol. 3, S. 1471–1478.
- SCHOLTEN, F. et al., 2005: Von Rohdaten aus dem Mars Express Orbit zu digitalen Geländemodellen und Orthobildern – Operationelle Verarbeitung HRSC-Daten. – PFG **2005** (5): 365–372.
- SEIDELMANN, P. K. et al., 2004: Report of the IAU/ IAG Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements: 2003. – Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy; im Druck.
- USGS, 2005: Gazetteer of Planetary Nomenclature. – <http://planetarynames.wr.usgs.gov> (27. 5. 2005).
- ZEGERS, T. E. et al., 2005: Mountainous Units in the Martian Gusev Highland Region: Volcanic, Tectonic, or Impact related. – Lunar and Planetary Science Conference, XXXVI, Paper 1651.

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. HARTMUT LEHMANN  
Dipl.-Ing. STEPHAN GEHRKE  
Prof. Dr.-Ing. JÖRG ALBERTZ  
Technische Universität Berlin, Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik, Sekr. H 12  
Straße des 17. Juni 135, D-10623 Berlin  
hartmut/stephan/albertz@fpk.tu-berlin.de

Dipl.-Phys. MARITA WÄHLISCH  
Institut für Planetenforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Rutherfordstr. 2  
D-12489 Berlin  
e-mail: Marita.Waehlich@dlr.de

Prof. Dr. GERHARD NEUKUM  
Freie Universität Berlin, Institut für Geologische Wissenschaften/Planetologie  
Malteserstr. 74–100, D-12249 Berlin  
e-mail: gneukum@zedat.fu-berlin.de

Manuskript eingereicht: Juni 2005  
Angenommen: Juli 2005



## Multitemporale und großformatige Echt-3D-Hartkopien der Marsoberfläche

MANFRED BUCHROITHNER, THOMAS GRÜNDEMANN & KLAUS HABERMANN, Dresden;  
GERHARD NEUKUM und das HRSC Co-Investigator Team

**Keywords:** cartography, true-3D-visualization, lenticular, stereo vision, multitemporal, Mars Express, High Resolution Stereo Camera (HRSC)

**Zusammenfassung:** Die Visualisierung von Geodaten, auch extraterrestrischer Objekte, spielt eine immer größere Rolle. Bisherige Ausgabeformen (Hartkopien) beschränkten sich aber zumeist auf statische, zweidimensionale oder pseudodreidimensionale Darstellungen.

Mittels der verschiedenen Effekte der Lentikulartechnik ist es möglich, auch Wechselbildeffekte, kurze Animationen oder Echt-3D-Darstellungen auf Hartkopie-Basis zu visualisieren. Ein Vorteil dieser Technik ist zudem, dass zur Wahrnehmung der verschiedenen Effekte keinerlei zusätzliche Betrachtungshilfen notwendig sind.

Im vorliegenden Artikel werden die darstellbaren Effekte beschrieben und anhand von drei Anwendungsbeispielen anschaulich erläutert.

**Summary:** *Multitemporal and large-format true 3D hard copies of the Martian surface.* The visualisation of geodata, also of extra-terrestrial objects, gains increasing importance. Until present, hard-copy displays were confined to mostly static, two-dimensional or pseudo-three-dimensional depictions.

The various effects offered by lenticular technology allow to generate flip-image effects, short animations or true-3D displays in the form of hardcopies. One big advantage of this technology is that these effects can be viewed with unaided eyes.

The paper describes the presentable effects which are demonstrated by means of three display examples of the Mars surface.

### 1 Möglichkeiten des Lentikularverfahrens

Die Lentikulartechnik ist ein Bildarstellungsverfahren zur Erzeugung von Mehrbildeffekten, wie zum Beispiel 3D-Darstellungen oder Animationen. Um diese Effekte ohne zusätzliche Hilfsmittel für den Betrachter (Brillen oder andere Geräte zur Bildtrennung) zu erzielen, befindet sich über der verschachtelten Bildinformation (bestehend aus mehreren Einzelbildern) eine so genannte Lentikularfolie aus parallel angeordneten Halbzylinderlinsen. Grundlegende Informationen zum Lentikularverfahren sind bei GRÜNDEMANN (2004/1), BUCHROITHNER et al. (2005) zu finden.

Eine große Stärke der Lentikulartechnik ist ihre Vielseitigkeit an darstellbaren Effekten. Diese können in drei Hauptkategorien eingeteilt werden: 2D-, 3D- und Kombina-

**Tab. 1:** Effekte von Lentikulardisplays [verändert nach Micro Lens 2004].

2D-Effekte	3D-Effekte	Kombinations-Effekte
<ul style="list-style-type: none"><li>• Flip-Effekt</li><li>• Veränderungseffekt (Morphing)</li><li>• Zoom-Effekt</li><li>• Animations-effekt</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Echt-3D</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• alle Kombinationen von 2D- und 3D-Effekten</li></ul>

tions-Effekte. Jede Hauptkategorie beinhaltet spezielle Effekte (Tab. 1).

Bei Displays mit 2D-Effekt verlaufen die halbzyklindrischen Linsen zumeist in horizontaler Richtung. Dadurch wird erreicht, dass beiden Augen des Betrachters die gleiche Bildinformation zugeführt wird. Durch das Kippen des Lentikulardisplays ändert sich aber der Bildinhalt.

Bei Lentikulardisplays mit 3D-Effekt sind die halbzyklindrischen Linsen dagegen zwingend vertikal angeordnet. Dies bewirkt, dass die Augen des Betrachters unterschiedliche Bilder desselben Objekts wahrnehmen.

Zusätzlich können die Displays als Reflektions- (Aufsicht/Auflicht) oder Transmissionsdisplays (Durchsicht/Durchleuchtung) hergestellt werden. Im Folgenden sollen nun die verschiedenen Effekte von Lentikulardisplays näher beschrieben werden.

**Flip-Effekt:** Lentikulardisplays mit Flip-Effekt stellen die einfachste Form dieser Art von Displays dar. Sie enthalten lediglich 2 Teilbilder mit beliebig wählbarem Inhalt. Der Betrachter nimmt, je nachdem in welche Richtung er das Display kippt, nur eines dieser beiden Teilbilder wahr.

**Veränderungseffekt (Morphing):** Der Veränderungseffekt ist eine komplexere Wiedergabe- bzw. Darstellungsform des einfachen Flip-Effekts. Er stellt eine schrittweise Veränderung von einem Ausgangszustand zu einem Endzustand dar. Neben zwei Teilbildern mit beliebig wählbarem Inhalt, die den Ausgangs- bzw. den Endzustand wiedergeben, werden zusätzlich noch Zwischenbilder verwendet, die den progressiven Übergang beinhalten.

**Zoom-Effekt:** Mit dem Zoom-Effekt lässt sich ein bestimmter Bereich einer dargestellten Szene vergrößern. Hierfür werden neben dem Ausgangsbild noch weitere Bilder verwendet, welche die schrittweise Vergrößerung beinhalten.

**Animationseffekt:** Zeitliche und räumliche Veränderungen eines Objekts lassen sich durch den Animationseffekt darstellen. Der-

artige Displays verwenden meist die höchste Anzahl ineinander verschachtelter Teilbilder gegenüber allen anderen Effekten. Die hohe Anzahl ist für die Darstellung eines fließenden Bewegungsablaufs notwendig.

**Echt-3D-Effekt:** 3D-Lentikulardisplays lassen Objekte räumlich erscheinen. Zu diesem Zweck werden mehrere inhaltsgleiche, aber perspektiv verschiedene Teilbilder verwendet. Der räumliche Eindruck wird dadurch erreicht, dass den Augen des Betrachters durch die Lentikularfolie unterschiedliche Teilbilder zugeführt werden.

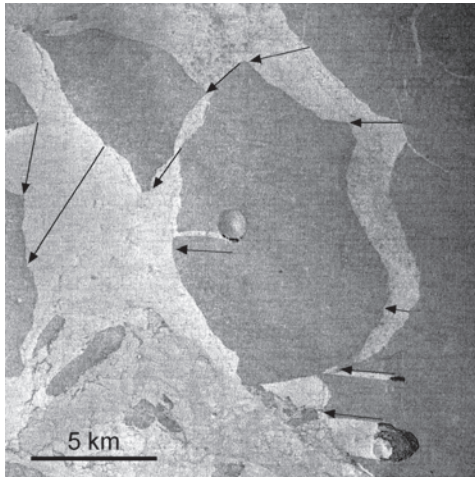
Eine Kombination von 2D- und 3D-Effekten ist ebenfalls möglich. Hierbei sind die Halbzyklindrischen Linsen vertikal angeordnet, um den Tiefeneindruck zu erzielen. Gleichzeitig werden durch eine Drehung des Displays nach links oder rechts verschiedene Inhalte sichtbar. So lassen sich z. B. erläuternde Schriftelemente auch über dem Relief „schwebend“ ein- und ausblenden oder zeitliche Veränderungen in der Reliefstruktur räumlich visualisieren. Die Anzahl verschiedener Szenarien ist jedoch aufgrund der begrenzten Größe des Betrachtungswinkels der Halbzyklindrischen Linsen zumeist auf 2 bis 3 Szenarien beschränkt. Sollen mehr als 3 Szenarien erstellt werden, so muss in den meisten Fällen auf den 3D-Eindruck verzichtet werden.

## 2 Anwendungsbeispiele

Für die geowissenschaftliche Visualisierung dreidimensionaler und/oder multitemporaler Daten bietet das Lentikularverfahren exzellente Voraussetzungen. Die große Anzahl an darstellbaren Effekten kann dabei helfen, das raumbezogene Verständnis für Abläufe auf der Erde und anderen Planeten aufzubringen und deren Analyse zu erleichtern. Anhand von bereits hergestellten und derzeit in Produktion befindlichen Lentikulardisplays sollen die Darstellungsmöglichkeiten und das Anwendungspotential des Verfahrens aufgezeigt werden.

### 2.1 2D-Animationsdisplay „Mars-Packeis in der Elysium-Ebene“

Die großen, plattenförmigen Strukturen in der Elysium-Ebene auf dem Mars, die als Packeis-Schollen interpretiert werden, bieten eine ideale Voraussetzung zur Rekonstruktion und Darstellung der Bewegungsabläufe auf dem Mars vor rund fünf Millionen Jahren. Ein derartiges Animationsdis-



**Abb. 1:** Elysium-Ebene mit Bewegungsvektoren der Packeis-Schollen.



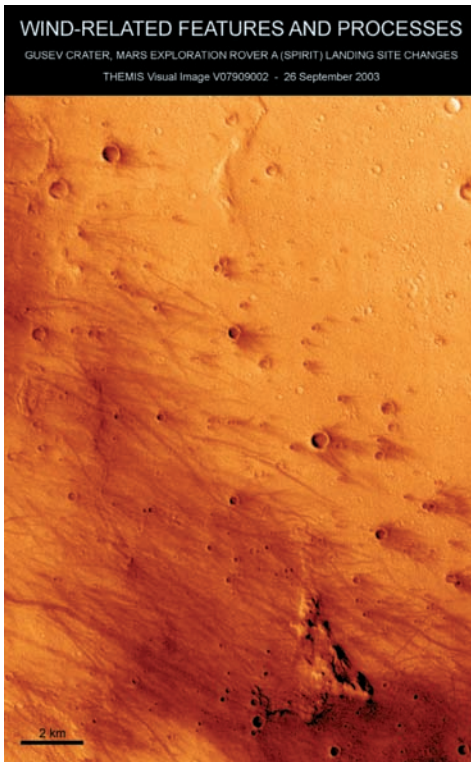
**Abb. 2:** Angenommener Ausgangszustand der Packeis-Schollen unmittelbar nach dem Zerbrechen.

play könnte den Verlauf vom Auseinanderbrechen und Wegdriften der Schollen bis zur Rotation in die heutige Position visualisieren. Die gesamte Eisfläche erstreckt sich auf  $800 \text{ km} \times 900 \text{ km}$ . Abb. 1 zeigt einen rund  $18 \text{ km} \times 18 \text{ km}$  großen Ausschnitt, der am 19. Januar 2004 (Orbit 32) von der HRSC-Kamera (an Bord von Mars Express der ESA) aufgenommenen Elysium-Ebene mit den eingezeichneten Bewegungsvektoren der Packeis-Schollen. Abb. 2 stellt einen angenommenen Ausgangszustand unmittelbar nach dem Zerbrechen der „Urplatte“ dar. Mit mindestens 5 Zwischenbildern lässt sich ein hinreichend guter Ablauf vom Anfangs- bis zum Endzustand beschreiben.

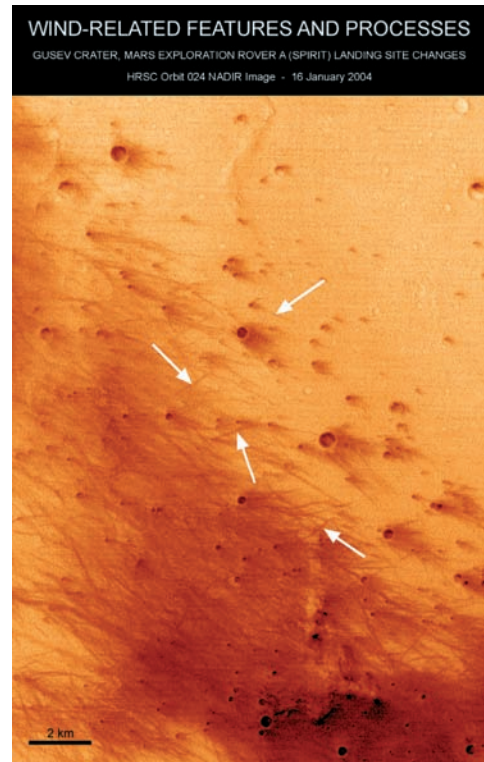
### 2.2 Bitemporales Echt-3D-Display „Wind Related Features in Gusev Crater on Mars“

Die durch Wind (Dust Devils) beeinflusste Ebene des Gusev-Kraters weist eine Reihe sich verändernder Strukturen auf. Um deren direkte Vergleichbarkeit zu ermöglichen, wurden zwei verschiedene Szenen des Gebietes verwendet. Abb. 3 zeigt die Szene 1, aufgenommen am 26. September 2003 vom *Thermal Emission Imaging Spectrometer* (THEMIS) an Bord von Mars Odyssey der NASA. Das gleiche Gebiet wurde von der HRSC-Kamera am 16. Januar 2004 überflogen (Abb. 4). In dieser zweiten Szene lassen sich Veränderungen zwischen diesen beiden Aufnahmezeitpunkten finden, die durch Pfeile markiert sind. Durch die Überlagerung der beiden Szenen im Lentikulardisplay und die frei wählbare Geschwindigkeit der Bildvariation, lassen sich die unterschiedlichen Strukturen sehr leicht erkennen. Der zusätzliche 3D-Eindruck des Geländes erlaubt außerdem die Wahrnehmung der Topographie des Gebietes und kann einen eventuellen Einfluss des Reliefs auf die Veränderungen aufzeigen.

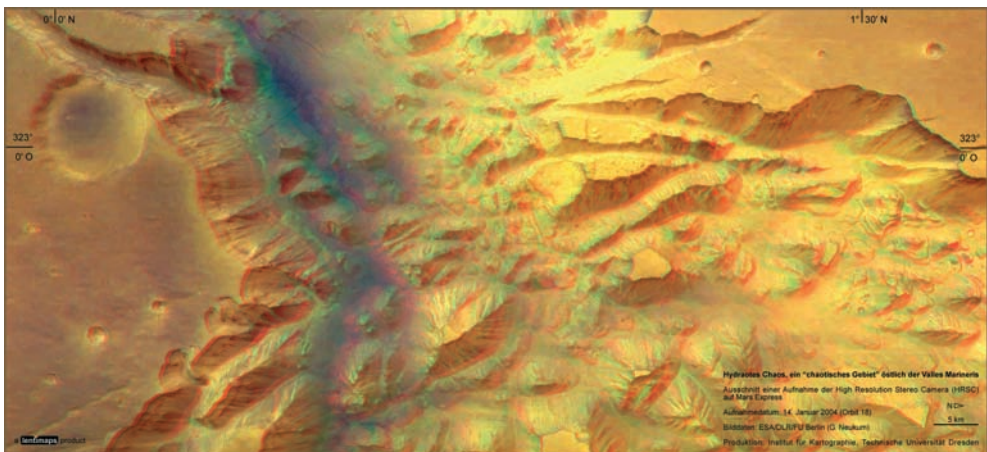
Bereits im Heft 1/2005 der Zeitschrift PFG erschien ein multitemporales Echt-3D-Lentikulardisplay. Es zeigt den großen Buddha von Bamiyan (Afghanistan) jeweils vor und nach der Zerstörung im März 2001. Eine ausführliche Beschreibung zu theoretischen



**Abb. 3:** Szene 1 des bitemporalen Echt-3D-Displays.



**Abb. 4:** Szene 2 des bitemporalen Echt-3D-Displays (Veränderungen sind durch Pfeile markiert).



**Abb. 5:** Layout des Echt-3D-Lentikular displays „Hydrades Chaos“ (Anaglyphendarstellung).



schen Modellierungsaspekten bitemporaler Echt-3D-LentikularDisplays und zur Herstellung des „Buddha-Displays“ ist in BUCHROITHNER et al. (2004/1) und BUCHROITHNER et al. (2005) zu finden.

### 2.3 Großformatiges Echt-3D-Display „Hydraotes Chaos östlich der Valles Marineris, Mars“

Für Bildungs- und Repräsentationszwecke wurde eine Echt-3D-Wandkarte des mit Schluchten und Tafelbergen stark zerklüfteten Gebietes Hydraotes Chaos hergestellt. Das „chaotische Gelände“ mit relativen Höhen von ungefähr 3700 m befindet sich östlich der Valles Marineris und wurde von der HRSC-Kamera am 14. Januar 2004 (Orbit 18) aufgenommen. Die Kartengröße von 220 cm in Nord-Süd-Richtung (Breite) und 100 cm in Ost-West-Richtung (Höhe) bietet die Möglichkeit der gleichzeitigen, räumlichen Wahrnehmung durch mehrere Betrachter in einer Betrachtungsentfernung von ungefähr 2 bis 9 m.

Für diese Karte im Querformat und einem Maßstab von 1: 50 000 wurde eine Lentikularfolie mit einer Linsendichte von 20 Linsen/Inch und insgesamt 12 perspektiv verschiedene Teilbilder verwendet. Die gesamte Karte besteht aus zwei zusammengeführten Teilen, da kommerziell verfügbare Lentikularfolien nur bis zu einer Breite von 120 cm verfügbar sind. Zusätzliche Informationen in der unteren rechten (= nordöstlichen) Ecke der Karte wie z. B. die Beschreibung der Lage des Gebietes, Datenquellen und Hersteller, Maßstab und Nordpfeil „schweben“ über dem Relief. Angaben zu Breiten- und Längengraden sind am Rand mit ange-rissen.

## 3 Fazit

Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick über die Anwendungsmöglichkeiten der multitemporalen und dreidimensionalen Visualisierung raumbezogener Daten mittels des Lentikularverfahrens. Der große Vorteil der Lentikulartechnik ist die Wahrnehmung verschiedener Informationen und

Inhalte aus einem Bild heraus. Zudem werden dafür keinerlei zusätzliche Hilfsmittel, wie z. B. Brillen zur Bildtrennung (Anaglyphenverfahren, stereoskopische Verfahren) oder eine spezielle Beleuchtung (Holographie) benötigt. Besonders bei Echt-3D-LentikularDisplays können so Höhenrelationen direkt aus dem Raumbild herausgelesen und interpretiert werden. Aber auch bei den 2D-Effekten bietet die Lentikulartechnik durch die Verschachtelung mehrerer Bilder eine einfache Möglichkeit zur Vergleichbarkeit sich zeitlich oder räumlich variierender Objekte und Vorgänge. Der Einsatz von LentikularDisplays ist daher hauptsächlich im Bildungs- und Wissenschaftsbereich zu sehen und dient ebenso zu Repräsentationszwecken. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass in Lentikulartechnik ein enormes Potenzial für zukünftige kartographische Anwendungen liegt.

## Danksagung

Die meisten Arbeiten zu der in diesem Bericht dargestellten Technologie entstanden im Rahmen des wissenschaftlichen HRSC-Experimentes der Mission Mars Express. Die Finanzierung der Arbeiten erfolgte durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) über das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR); Projektnummer 50QM0101.

Besonderer Dank für die Bereitstellung ihrer Interpretationsergebnisse geht an Dr. JOHN MURRAY, der die Bewegungsvektoren zu den Packeis-Schollen lieferte, und an Prof. RONALD GREELEY, der die durch Wind veränderte Ebene im Gusev Crater untersucht hat. Dank sei auch allen weiteren fördernden Stellen und Personen ausgesprochen.

## Literatur

- BAHR, A., 1991: Stereoskopie – Räume – Bilder – Bildräume. – Thales Themenheft Nr. 49; 47 S., Thales Verlag, Essen.
- BUCHROITHNER, M.F., GRÜNDEMANN, T. & HABERMANN, K., 2004/1: Theoretical Modelling Aspects of Bitemporal True-3D Hardcopy Pro-



- duction. – Gedenkband zum 60. Geburtstag von Prof. Dr. Armin Grün, ETH Zürich, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie: 33–38.
- BUCHROITHNER, M. F., HABERMANN, K. & GRÜNDEMANN, T., 2004/2: Theoretische Aspekte der Modellierung von Echt-3D-Darstellungen. – Kartographische Bausteine **26**: 62–74, TU Dresden.
- BUCHROITHNER, M. F., HABERMANN, K. & GRÜNDEMANN, T., 2005: Modeling of Three-Dimensional Geodata Sets for True-3D Lenticular Foil Displays. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2005** (1): 47–56.
- GRÜNDEMANN, T., 2004/1: Grundlagenuntersuchungen zur kartographischen Echt-3D-Visualisierung mittels des 3D-Lentikularverfahrens. – 45 S., Studienarbeit, TU Dresden.
- GRÜNDEMANN, T., 2004/2: Herstellung einer Echt-3D-Hochgebirgskarte auf der Basis des Lentikularverfahrens. – 88 S., Diplomarbeit, TU Dresden.
- Micro Lens Technology, Inc., 2004: Choosing the Right Lenticular Lens. – <http://www.micro-lens.com>.
- OKOSHI, T., 1976: Three-Dimensional Imaging Techniques. – 403 S., New York Academic Press.
- Anschriften der Verfasser:
- Prof. Dr. MANFRED F. BUCHROITHNER  
Manfred.Buchroithner@mailbox.tu-dresden.de  
Dipl.-Ing. THOMAS GRÜNDEMANN  
Thomas.Gruendemann@mailbox.tu-dresden.de  
Dipl.-Ing. KLAUS HABERMANN:  
Klaus.Habermann@mailbox.tu-dresden.de  
Technische Universität Dresden (TUD)  
Institut für Kartographie  
Helmholtzstr. 10, D-01069 Dresden
- Prof. Dr. GERHARD NEUKUM  
Freie Universität Berlin, Institut für Geologische  
Wissenschaften/Planetologie  
Maltesserstraße 74–100, D-12249 Berlin  
e-mail: gneukum@zedat.fu-berlin.de
- Manuskript eingereicht: Juni 2005  
Angenommen: Juli 2005

## Ein hoch auflösendes digitales Oberflächenmodell des Marsmondes Phobos

BERND GIESE, JÜRGEN OBERST, FRANK SCHOLTEN, HARALD HOFFMANN, Berlin,  
MICHAEL SPIEGEL, München, GERHARD NEUKUM und das  
HRSC Co-Investigator Team

**Keywords:** remote sensing, photogrammetry, bundle adjustment, DTM, Phobos

**Zusammenfassung:** Im August 2004 passierte MarsExpress den Marsmond Phobos in einem Abstand von 150 km. Während des Vorbeiflugs entstand eine hoch auflösende ( $\sim 10$  m/pixel) HRSC-Bildsequenz mit fünffacher Stereoabdeckung. Dieser Beitrag stellt die Ergebnisse der photogrammetrischen Auswertung der Daten vor und zeigt die Verbesserung des digitalen Oberflächenmodells im Vergleich zur früheren Viking-Mission.

**Summary:** *A high-resolution digital surface model of the Martian moon Phobos.* In August 2004, MarsExpress passed the Martian moon Phobos at a distance of 150 km. During the encounter, the HRSC on board acquired a high-resolution imaging sequence ( $\sim 10$  m/pixel) at five-fold stereo coverage. This paper reports on the results of photogrammetric analysis of these data and shows the improvement of the digital surface model over the global shape model from the Viking era.

---

### 1 Einleitung

Phobos, einer der beiden Satelliten des Mars, wurde 1877 entdeckt. Der kleine Mond (Radien:  $13 \text{ km} \times 11 \text{ km} \times 9 \text{ km}$ ) umkreist den Planeten nahe der Äquatorebene in einem Abstand von weniger als drei Marsradien. Seine Oberfläche ist geprägt durch eine Vielzahl von Einschlagkratern, insbesondere dem Krater Stickney, dessen Durchmesser etwa so groß ist wie der mittlere Figurenradius. Aufgrund der starken Gezeitenwechselwirkung mit Mars vollzieht Phobos, wie der Erdmond, eine gebundene Rotation (Umlaufzeit  $\sim 7,6$  h). Die Herkunft des Mondes ist umstritten, vermutlich handelt es sich aber um einen eingefangenen Asteroiden (BURNS 1991).

In vergangenen Missionen war Phobos immer wieder Gegenstand der Forschung. Die noch laufende *Mars Global Surveyor*

Mission (1998) hat einige hoch aufgelöste ( $\sim 2$  m/pixel) Bilder von der Oberfläche übertragen, weiterhin konnten einige Höhenprofile mittels Laser-Altimeter gemessen werden. Am intensivsten wurde Phobos aber von den Viking-Sonden untersucht. Über einen Zeitraum von vier Jahren (1976–1980) entstanden Hunderte von Bildern mit Auflösungen besser als 200 m/pixel (beste Auflösung 6 m/pixel) und vollständiger Abdeckung der Oberfläche. Dieser Bilddatensatz bildet heute die Grundlage für das bestehende Kontrollpunktnetz von Phobos (DUXBURY & CALLAHAN 1989, DUXBURY 1991) und das bestehende globale Modell der Oberfläche (THOMAS 1989).

MarsExpress mit der hoch auflösenden Kamera HRSC an Bord (ALBERTZ et al. 2005) hat bis Mai 2005 11 nahe Vorbeiflüge (Abstände  $< 4000$  km) an Phobos absolviert. Dabei entstanden überwiegend Bild-

streifen mit Auflösungen geringer als die der existierenden Viking-Bilder. Eine Ausnahme bilden jedoch die Aufnahmen vom August 2004 (Orbit 756). Hier betrug der Vorbeiflugabstand nur 150 km und HRSC konnte Phobos aus nächster Nähe mit Auflösungen von 7 m/pixel (Nadir-Sensor) und 14 m/pixel (Stereo- und Photometrie-Sensoren) bei fünffacher Stereoabdeckung fotografieren. Wir haben diesen Datensatz photogrammetrisch analysiert und ein digitales Oberflächenmodell (DOM) von Phobos berechnet.

## 2 HRSC-Beobachtungen

Die im Orbit 756 aufgenommenen Bildstreifen von Phobos zeigt Abb. 1. Der Abstand von MarsExpress zu Phobos während der Aufnahmen betrug etwa 150 km. Das Scannen von Phobos erfolgte durch Drehung des Raumschiffs mit konstanter Geschwindigkeit und dauerte z. B. für den Nadir-Sensor ungefähr 10 s ( $\sim 4000$  Bildzeilen). Dabei bewegte sich MarsExpress in einem polaren Orbit senkrecht zur Phobosbahn.

Während der Nadir-Sensor (ND) in voller Auflösung betrieben wurde, arbeiteten die Stereo- und Photometrie-Sensoren (S1/S2, P1/P2) im  $2 \times 2$  Summationsmodus.

Die Aufnahmesequenz macht deutlich, dass die zentralen Bildbereiche eine 5-fache Stereoabdeckung besitzen, während Bereiche am oberen und unteren Bildrand nur von jeweils 2 Sensoren vollständig gesehen wurden (z. B. der große Krater Stickney im oberen Bildbereich wird nur von P2 und S2

vollständig gesehen). Die Stereoabdeckung durch die einzelnen Sensoren hat Einfluss auf die Punktgenauigkeiten des DOMs (s. Abschnitt 6).

## 3 Methode

Die photogrammetrische Prozessierung der HRSC-Bildstreifen folgt generell dem Schema der HRSC-Mars-Datenverarbeitung (SCHOLTEN et al. 2005, SPIEGEL et al. 2005):

- Bestimmung von homologen Punkten für die Bündelausgleichung,
- Bündelausgleichung mit homologen Punkten und Passinformation,
- Digitale Bildkorrelation,
- DOM-Berechnung.

Die Spezifik des Phobos-Datensatzes besteht darin, dass

- (i) die Bündelausgleichung, anders als beim Mars, mit 3D-Kontrollpunkten als Passinformation durchzuführen ist,
- (ii) ein offensichtlicher Fehler in der Bahn von Phobos bei der Modellierung berücksichtigt werden muss,
- (iii) die digitale Bildkorrelation nicht vollautomatisch läuft.

Nachfolgend werden spezifische Aspekte der Verarbeitung diskutiert.

## 4 Bündelausgleichung

Nimmt man manuell gemessene homologe Bildpunkte (Abb. 1), die nominalen Bahn- und Lagedaten der Kamera und die aus der



**Abb. 1:** Zusammenstellung der HRSC-Bilder von Phobos. Zur besseren Darstellung wurde das ND-Bild um den Faktor 2 verkleinert. Die beste Bildauflösung beträgt  $\sim 7$  m/pixel (ND) und  $\sim 14$  m/pixel (sonst). Rote Punktnummern zeigen die Verteilung der in der Bündelausgleichung (Abschnitt 4) verwendeten Punkte.

Viking-Zeit bekannte Bahn von Phobos (Ephemeriden des *Jet Propulsion Laboratory*) und berechnet daraus im Vorwärtschnitt die 3D-Objektkoordinaten der Punkte im Phobos-festen Koordinatensystem, so erhält man folgendes Resultat: Die Schnittgenauigkeiten der Punkte  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  betragen 37 m, 17 m, 36 m und sprechen damit für eine gute relative Lagegenauigkeit der Daten, jedoch ist der radiale Abstand der Punkte vom Koordinatenursprung mit  $\sim 20$  km etwa doppelt so groß wie der bekannte mittlere Figurenradius. Offenbar liegt hier ein grober Beobachtungsfehler vor. Die MarsExpress-Bahngenauigkeit ist generell besser als 500 m und scheidet als Fehlerquelle aus, ebenso ein möglicher Versatz in den Lagedaten. Der nominale Lagefehler von 0,1 gon macht bei einem Vorbeiflugabstand von 150 km nur etwa 200 m aus. Als einzige Fehlerquelle bleibt die Position von Phobos, die um etwa 10 km falsch sein muss. Diese Vermutung wird durch eine Analyse von Phobos-Transit-Beobachtungen, gemessen in Bildern der Mars Exploration Rover *Spirit* und *Opportunity*, bestätigt (BELL III et al. 2005). Demnach beträgt die Differenz zwischen beobachteter und vorhergesagter Position (JPL-Ephemeriden) von Phobos  $11 \pm 1$  km entlang der Bahn und  $0,5 \pm 1$  km senkrecht zur Bahnebene.

Ausgehend von diesen Betrachtungen hatte die Bündelausgleichung der HRSC-Phobosdaten das Ziel, einerseits die Lagedaten auszugleichen um die relativen Punktgenauigkeiten zu verbessern, andererseits die Anpassung der Objektpunkte an das bestehende Kontrollnetz zu bewerkstelligen und dabei den Fehler in der Phobosbahn zu bestimmen. Die Anpassung der hoch aufgelösten HRSC-Daten an das Viking-Kontrollnetz ist sinnvoll, da die meisten Kontrollpunkte absolute Genauigkeiten von 100 m besitzen und damit absolut besser sind als die Bahngenauigkeit von MarsExpress.

Beobachtungen der Ausgleichung:

- 38 homologe Bildpunkte (= 370 Bildkoordinaten),

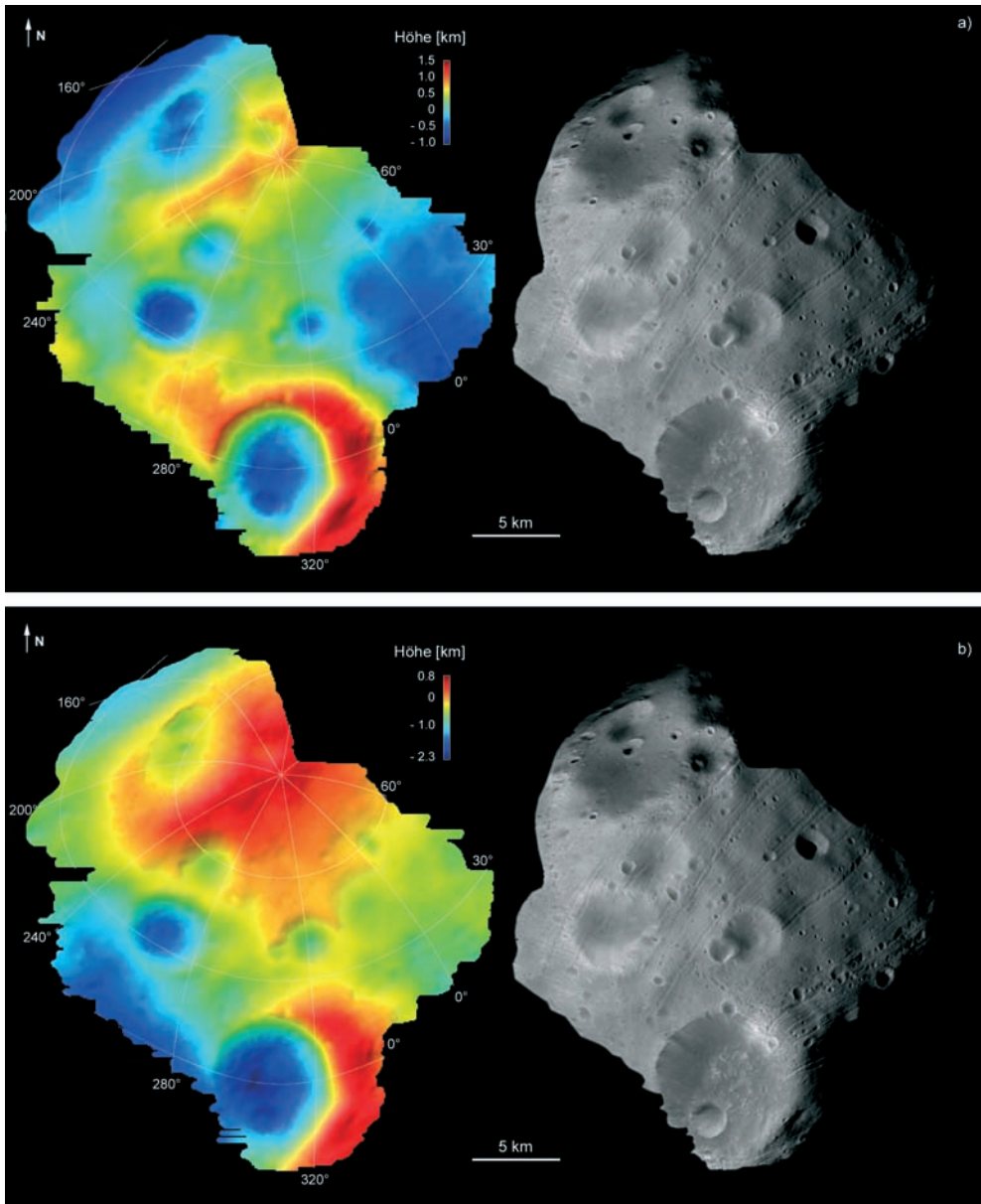
- Kamerapositionen- und Lagewinkel für jede Bildzeile im Phobos-festen Koordinatensystem,
- 1 Vollpasspunkt aus dem bestehenden Phobos-Kontrollnetz.

Da der Ausgleichungsansatz im körperfesten Koordinatensystem formuliert ist, ergaben sich bei Benutzung der vorhergesagten Phobosbahn zunächst große Zuschläge zu den Kamerapositionen. Das weitere Vorgehen erfolgte nun iterativ. Phobos wurde entlang seiner Bahn solange verschoben, bis die Zuschläge zu den nominalen Kamerapositionen und Lagewinkeln im Rahmen der MarsExpress-Bahn- und -Lagegenauigkeiten lagen. Zur Kontrolle der Ergebnisse wurde ein zweiter Punkt des Phobos-Kontrollnetzes in den HRSC-Bildern gemessen und seine vorausberechnete Position mit der Soll-Position verglichen.

Geschätzt wurden in der Ausgleichung (SPIEGEL et al. 2005) nur Offsets in den Bahn- und Lageparametern für jeweils ein Orientierungsbild am Anfang und am Ende der Beobachtungssequenz. Mit diesem einfachen Ansatz konnten sehr gute Ergebnisse erzielt werden.

Ergebnisse der Ausgleichung:

- (i) Die beste Anpassung der HRSC-Daten an das Viking-Kontrollnetz ergab sich, wenn Phobos seiner vorhergesagten Position um 12 km voraus ist. Der Fehler dieses Wertes kann im Bereich 0,5–1 km liegen, da neben dem MarsExpress-Bahnfehler noch ein Fehler von einigen Hundert Metern bei der Identifikation des Viking-Vollpasspunktes in den HRSC-Bilddaten anzurechnen ist.
- (ii) Bei Berücksichtigung eines Bahnfehlers von 12 km lag der zweite gemessene Kontrollpunkt im Rahmen der à priori Genauigkeiten an der richtigen Stelle.
- (iii) Die Schnittgenauigkeiten der Objektpunkte nach der Ausgleichung  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  betragen 7 m, 3 m, 7 m und wurden damit signifikant verbessert.



**Abb. 2:** Oberflächenmodell (links) und Orthophoto (rechts) von Phobos in sinusoidaler Kartenprojektion. Das Orthophoto ist ein Mosaik aus den Bildern der Sensoren S1 und S2. a) Referenzellipsoid:  $13,4 \text{ km} \times 11,2 \text{ km} \times 9,2 \text{ km}$ . b) Referenzellipsoid:  $13,4 \text{ km} \times 13,4 \text{ km} \times 9,2 \text{ km}$ . Das Projektionszentrum liegt bei  $50^\circ \text{N}$ ,  $310^\circ \text{E}$ .



## 5 Bildkorrelation

Die digitale Bildkorrelation zur Bestimmung von homologen Punkten für die DOM-Berechnung erfolgt im „Mars-Fall“ mit vorkorrigierten Bildern (SCHOLTEN et al. 2005). Damit ist das Verfahren im Wesentlichen automatisch. Für die Phobosbilder war diese Methode nicht erfolgreich. Es zeigten sich große Lücken in der Abdeckung mit homologen Punkten, besonders am Phobosrand, wo sich der Bildmaßstab stark ändert. Deshalb wurde die Bildkorrelation mit manuell gemessenen Startpunkten zur Suchbereichseingrenzung (WEWEL 1996) ausgeführt.

Eine Fenstergröße von 13 pixeln für die Sub-Pixelanpassung erwies sich optimal.

## 6 DOM-Berechnung

Im ersten Schritt zur DOM-Erstellung wurden aus den Punkten der Bildkorrelation und den ausgeglichenen Bahn- und Lagedaten Objektpunkte berechnet. Punkte mit Schnittgenauigkeiten  $\leq 13$  m wurden dabei nicht berücksichtigt. Die mittlere Schnittgenauigkeit betrug 6 m. Dieser Wert repräsentiert auch die relative Höhengenaugigkeit der Mehrzahl der Punkte, ausgenommen 2-Strahl-Punkte, wie die im oberen und unteren Bildbereich (s. Abschnitt 3). Deren Höhengenaugigkeit ist wesentlich schlechter und nur durch den Konvergenzwinkel zwischen den Sensoren und die Bodenpixelgröße bestimmt. Sie beträgt 12–24 m für Bildpunktgenauigkeiten von 0,1–0,2 pixel.

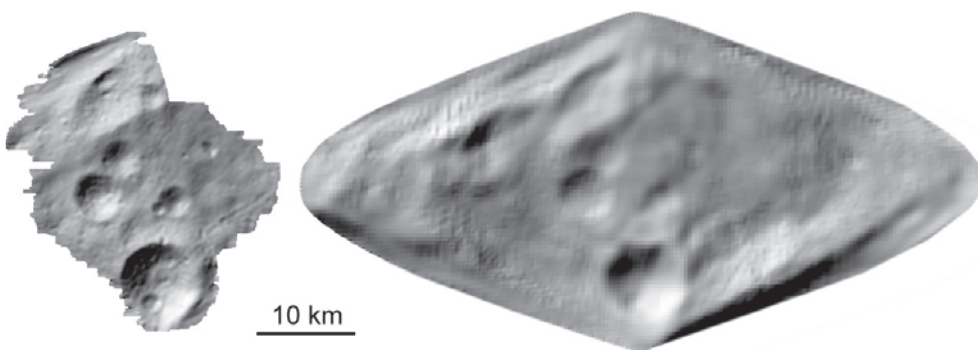
Im zweiten Schritt der DOM-Erstellung erfolgte die Höhenreferenzierung der Objektpunkte, eine Transformation in eine sinusoidale Kartenprojektion und daraus die DOM-Interpolation. Lücken in Gebieten mit geringem Bildkontrast wurden über Bildpyramiden geschlossen.

Das abgeleitete DOM ist in einer farbkodierten Darstellung in Abb. 2a gezeigt. Es überdeckt etwa 1/3 der Oberfläche von Phobos. Die laterale Auflösung beträgt 100–200 m. Um die Details der Oberfläche besser sichtbar zu machen, wurde dem farbkodierten DOM eine Schummerung (Abb. 3, links) unterlegt. Mit dem DOM konnte ein Orthomosaik aus den Bildern der Sensoren S1 und S2 in 20 m Auflösung berechnet werden.

Phobos ist, verglichen mit der Erde, ein ausgeprägt ellipsoidaler Körper. Dementsprechend ändern sich die Höhenverhältnisse deutlich, wenn man die Punkte auf ein 2-achsiges Ellipsoid als Höhenreferenz bezieht. Dies ist im Vergleich zwischen Abb. 2a und 2b zu sehen. Die für Oberflächenprozesse, wie z. B. Hangrutschungen, relevanten Höhen lassen sich jedoch erst mit Kenntnis des Phobos-Geoids berechnen. Abweichungen zu den Ellipsoid-Höhen sind insbesondere am Krater Stickney zu erwarten, da hier eine große Massenanomalie vorliegt.

## 7 Vergleich zum Viking-Modell

Das Viking-Oberflächenmodell (<http://www.psi.edu/pds/archive/astdata/SHAPE/m1phobos.tab>) steht in einer digitalen Auf-



**Abb. 3:** Schattierte Oberflächenmodelle: (links) HRSC-DOM, (rechts) Viking-DOM.

lösung von  $2^\circ \times 2^\circ$  ( $\sim 400$  m am Äquator) zur Verfügung, die effektive Auflösung aber ist in den meisten Gebieten vermutlich schlechter. Abb. 3 zeigt die erreichte Verbesserung in der räumlichen Auflösung mit dem HRSC-DOM, andererseits auch die noch fehlende Abdeckung mit HRSC-Daten.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Wir haben aus einer MarsExpress-HRSC-Bildsequenz von einem nahen Vorbeiflug am Marsmond Phobos ein digitales Oberflächenmodell abgeleitet. Das Modell hat eine laterale Auflösung von 100–200 m und ist damit mehrfach besser als das bestehende globale Oberflächenmodell aus der Viking-Zeit. Allerdings wird nur ca. 1/3 der gesamten Oberfläche abgedeckt. Auf der Basis des Modells konnte ein digitales Orthobildmosaik mit 20 m Auflösung berechnet werden.

Bei der Anbindung des HRSC-Datensatzes an das Viking-Kontrollnetz zeigte sich, dass Phobos seiner vorhergesagten Bahn um 12 km voraus ist.

Das abgeleitete Oberflächenmodell ist zur Entzerrung der Bilder der HRSC-Farbsensoren geeignet, so dass nun Farb-Orthobilder in hoher Auflösung generiert werden können. Darüber hinaus sind mit Kenntnis der Topographie und damit der lokalen Beobachtungs- und Beleuchtungswinkel photometrische Untersuchungen im kleinskaligen Bereich möglich. Morphologische Untersuchungen der Oberfläche benötigen jedoch eine Äquipotentialfläche, die erst mit einem globalen Oberflächenmodell berechenbar ist.

Weitere nahe Vorbeiflüge an Phobos sind geplant. Mit diesen Daten werden wir das Oberflächenmodell erweitern.

## Literatur

- ALBERTZ, J. et al., 2005: HRSC – Die »High Resolution Stereo Camera« auf Mars Express. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2005** (5): 361–364.
- BURNS, J.A., 1992: Contradictory clues as to the origin of the Martian Moons. – In: MARS, H. H. KIEFER, B. M., JAKOSKY, C. W., SNYDER & MATHEWS, M.S. (eds.). – The University of Arizona Press.
- BELL III, J.F. et al., 2005: Solar eclipses of Phobos and Deimos observed from the surface of Mars. – *Nature*, in press.
- DUXBURY, T.C., 1991: An analytic model for the Phobos surface. – *Planetary and Space Science* **39**: 355–376.
- DUXBURY, T.C. & CALLAHAN J. D., 1989: Phobos and Deimos Control Networks. – *Icarus* **77**: 275–286.
- SCHOLTEN, F. et al., 2005: Von Rohdaten aus dem Mars Express Orbit zu Digitalen Geländemodellen und Orthobildern – Operationelle Verarbeitung von HRSC Daten. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation*, **2005** (5): 365–372.
- SPIEGEL, M. et al., 2005: Bündelausgleichung von HRSC-Bilddaten mit Mars Observer Laser Altimeter-Daten als Passinformation. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2005** (5): 381–386.
- THOMAS, P.C., 1989: The shapes of small satellites. – *Icarus* **77**: 248–274.
- WEWEL, F., 1996: Determination of conjugate points of stereoscopic three line scanner data of Mars 96 mission. – *Int. Arch. Photogram. Remote Sensing* **XXXI** (B3): 936–939.

### Anschriften der Autoren:

Dr. BERND GIESE

Dr. JÜRGEN OBERST

Dipl.-Ing. FRANK SCHOLTEN

Dipl.-Geol. HARALD HOFFMANN

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

e.V., Institut für Planetenforschung

Rutherfordstr. 2, D-12489 Berlin

e-mail: bernd.giese@dlr.de

Dipl.-Ing. MICHAEL SPIEGEL

Technische Universität München, Fachgebiet

Photogrammetrie und Fernerkundung

Arcisstr. 21, D-80333 München,

e-mail: spiegel@bv.tum.de

Prof. Dr. GERHARD NEUKUM

Freie Universität Berlin, Institut für Geologische

Wissenschaften/Planetologie

Maltenserstr. 74–100, D-12249 Berlin

e-mail: gneukum@zedat.fu-berlin.de

Manuskript eingereicht: Juni 2005

Angenommen: Juli 2005

## Berichte

### 10. GiN – Forum »Geodateninfrastrukturen – Motor für die Wirtschaft« am 18. Mai 2005 in Hannover

In Zusammenarbeit mit dem GEOkomm e.V. veranstaltete das Kompetenzzentrum für Geoinformatik Niedersachsen (GiN) im Leibnizhaus in Hannover das 10. GiN-Forum zum Thema *Geodateninfrastrukturen – Motor für die Wirtschaft*. Den ca. 120 Teilnehmern wurde das Thema „Geodateninfrastrukturen (GDI)“ durch Vorträge aus Sicht von Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung präsentiert und in einer abschließenden Podiumsdiskussion unter der Leitung von Prof. Dr. MANFRED EHLERS, dem wissenschaftlichen Leiter des GiN, beleuchtet. Das Konzept der „Geodaten-Infrastruktur“ befindet sich technisch, politisch und gesellschaftlich seit einiger Zeit auf dem Vormarsch. Der schnelle, webbasierte Zugriff auf Geoinformationen wird seitens der Nutzer verlangt, ist in Deutschland und anderen Ländern politischer Wille und wird – sofern die Meilensteine adäquat umgesetzt werden – bald zum Standard avancieren.

Nach dem Grußwort durch den Staatssekretär JOACHIM WERREN vom Niedersächsischen Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr erläuterten die Vortragenden aus namhaften Unternehmen und Institutionen, wie dem Niedersächsischen Ministerium für Inneres und Sport, als Federführung für die GDI Niedersachsen, dem Bundesamt für Umwelt und auch der SAP AG (Walldorf), wie sie sich dem Thema GDI genähert haben und welche Probleme zu lösen waren oder zu lösen sind. Einen Lichtpunkt mit aktuellem Bezug setzte Dr. LAUTERJUNG vom Geoforschungszentrum Potsdam, der über den *Aufbau eines Tsunami-Frühwarnsystems – Herausforderung und Chance für die Geoinformationswirtschaft* referierte und die Planungen für die Hilfe der betroffenen Region erörterte.

Als Fazit, insbesondere der Podiumsdiskussion, konnte herausgestellt werden, dass

alle Akteure der Geoinformationswirtschaft nur gemeinsam in der Lage sein werden, die Wertschöpfungskette für Geodaten zu verbessern und das Potenzial der Dienste und Lösungen mit Geodaten zu nutzen.

Weitere GiN-Foren stehen bereits auf dem Terminkalender. Die nächste Veranstaltung findet am 7. Juni 2005 in Oldenburg zum Thema *GIS im Internet* statt. Anfang November 2005 veranstaltet das GiN in Göttingen das Forum *Open Source/freie GIS*.

Anmeldungen zu allen Foren sind unter [www.gin-online.de](http://www.gin-online.de) oder per Telefon 04441-15428 bzw. FAX 04441-15583 möglich. Auf der homepage [www.gin-online.de](http://www.gin-online.de) finden Sie auch die bisherigen Beiträge der Foren sowie allgemeine Informationen über die Arbeit des Kompetenzzentrums.

Das GiN ist eine vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur gegründete Einrichtung. Zum virtuellen GiN Kompetenzzentrum für Geoinformatik gehören die im Bereich Geoinformatik führenden Hochschulen in Niedersachsen. Dazu gehören das Forschungszentrum für Geoinformatik und Fernerkundung (FZG) und das Fachgebiet Geographie an der Universität Osnabrück, die Institute für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI) und Kartographie und Geoinformatik (ikg) der Universität Hannover, das Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG) der FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven an der Universität Osnabrück.

AXEL DE VRIES, Oldenburg

### Innovation in Aus- und Weiterbildung mit GIS

Tagung vom 2./3. Juni 2005 in Potsdam

Veranstalter dieser Konferenz waren der Deutsche Dachverband für Geoinformation (DDGI), die Deutsche Gesellschaft für Pho-

togrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) und das GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ) in Kooperation mit Aus- und Fortbildungsgruppen von zahlreichen weiteren Branchenverbänden. Eine solche Tagung erschien den Ausrichtern dringend notwendig, betrachtet man die dramatischen Veränderungen in der Hochschullandschaft der letzten Jahre, hervorgerufen z. B. durch die Einführung von Bachelor- und Masterstudiengängen, durch das zunehmende Angebot an e-Learning-Komponenten, aber auch durch Profilierungen, Einsparungen und neue Schwerpunktbildungen an den Hochschulen. Über 120 Teilnehmer, primär aus Deutschland, bestätigten den Bedarf für eine solche Tagung. Es waren auch nicht nur Hochschullehrer vertreten, eine große Anzahl von Teilnehmern kam auch aus der Verwaltung und Wirtschaft.

In einer gelungenen Mischung aus Vorträgen, Diskussionsrunden, Poster-Sessions und online-Demonstrationen konnten sich die Teilnehmer über aktuelle Entwicklungen in der GIS-Ausbildungslandschaft aus erster Hand informieren. Aus- und Weiterbildungsthemen im Umfeld der Geoinformatik konnten fächerübergreifend diskutiert und Erfahrungen ausgetauscht werden. Geodäten, Informatiker und Geographen als Hardcore-GI-Vertreter trafen auf Umweltwissenschaftler, Planer als GI-Anwender, wodurch die Breite des GIS-Einsatzes in der Aus- und Weiterbildung deutlich zum Ausdruck kam und ein interessanter Spannungsbogen für Diskussionen geboten war.

Die Veranstaltung war mit einem parallel stattfindenden Workshop der Arbeitsgruppe VI/2 der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (ISPRS) kombiniert, an dem etwa 30 Interessenten aus der ganzen Welt teilnahmen. In der gemeinsamen Eröffnungssitzung führte Prof. JOSEF STROBL von der Universität Salzburg in seinem eingeladenen Keynote-Vortrag in e-Learning als sozialen Prozess ein.

Schwerpunkthemen für die Vortragsblöcke waren:

- GIS an Schulen
- GIS-Studien- und Weiterbildungsangebote
- GIS und e-Learning/Lernmaterialien

Zwei weitere eingeladene Vorträge, einerseits zur Entwicklung der GIS-Ausbildung in den letzten 20 Jahren durch Prof. RALF BILL, Rostock, sowie zu Einsatzszenarien für e-Learning-Angebote in der Geoinformatik aus Sicht der Instruktionspsychologie durch Prof. ULRICH GLOWALLA, Gießen, leiteten jeweils eine intensive Diskussionsrunde zu diesen Themenschwerpunkten ein. In den beiden Poster-Session mit über 20 Postern konnte ausgiebig weiter diskutiert werden und es konnten Erfahrungen ausgetauscht werden. Hier ließ sich auch online in verschiedensten e-Learning-Angeboten schnuppern. Im angenehmen Ambiente konnte diese Diskussion in den Mittagspausen oder beim abendlichen Buffet fortgesetzt werden.

Die Veranstalter haben, motiviert durch die positive Resonanz und den sehr erfolgreichen Verlauf der Ausbildungstage, eine weitere Veranstaltung mit neuen Schwerpunkten für das nächste Jahr angekündigt. Ebenfalls soll im Nachgang zur Veranstaltung eine Erklärung zum Stand der GI-Ausbildung und dem Bedarf und der anzustoßenden Entwicklungen publiziert werden, um somit auch in Politik und Gesellschaft Bewusstsein für die Geoinformation zu schaffen.

Die Beiträge standen, auf einer CD gesammelt, zur Konferenz bereit. Weitere Informationen sind unter <http://gis.gfz-potsdam.de> zu finden bzw. direkt einzuholen bei: Deutscher Dachverband für Geoinformation e.V., Leiter der Fachgruppe „Aus- und Fortbildung“ BERNHARD HARZER c/o Bernhard Harzer Verlag GmbH Westmarkstraße 59/59 a, D-76227 Karlsruhe Tel.: 0721-944 02 0, Fax: 0721-944 02 30 e-mail: [info@harzer.de](mailto:info@harzer.de) [www.ddgi.de](http://www.ddgi.de)

RALF BILL, Rostock

### **Hamburger Anwenderforum für Terrestrisches Laserscanning 2005**

am 23. Juni 2005 an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg

Wer am Morgen des 23. Juni 2005, einem herrlichen sonnigen und warmen Tag, die Hamburger Hebebrandstraße entlangging, sah schon von weitem die Stative und Instrumente der Geomatikstudierenden der HAW. So erinnerten sich einige der 100 Gäste, die sich dort zum *Hamburger Anwenderforum für Terrestrisches Laserscanning* einfanden, an die eigenen Studienzeiten. Sie versammelten sich trotz des schönen Wetters im großen Vortragszelt, um den Beiträgen von 16 Vortragenden in vier technischen Sitzungen mit den verschiedensten Anwendungen wie Anlagenvermessung, Architektur und Denkmalpflege, Schiffsbau, Tatortaufnahme, Unfallforschung und Dinosauriermodellierung zu lauschen. Dank der gut vorbereiteten und interessanten Themenzusammenstellung hat kein Gast den Vortragsraum gegen ein Sonnenbad auf der Wiese eingetauscht.

Die Teilnehmer kamen überwiegend aus dem norddeutschen Raum von Ingenieurbüros (40%), Hochschulen (30%), Behörden (20%) und Systemherstellern (10%). Das Interesse für die Lasertechnologie war nicht nur bei Geodäten sehr groß, sondern auch bei anderen Fachdisziplinen wie Architektur und Polizei. Begleitend zur Tagung stellten fünf namhafte Aussteller ihre aktuellen Laserscanning-Systeme aus und luden die Besucher ein, sich über die aktuelle Software und Geräteentwicklung zu informieren. Insbesondere waren dies die Firmen Leica mit dem HDS3000 und HDS4500, Faro mit LS 880 HE, Callidus mit CP3200, 3D Lasersysteme mit Mensi GS200 und TopScan mit ILRIS-3D.

Nach den einleitenden Worten des Dekans Prof. STERNBERG und des Hauptorganisators Prof. KERSTEN begann die erste Sitzung *Grundlagen und Untersuchungen*. Prof. PRZYBILLA (Uni Duisburg-Essen) bot einen umfassenden Überblick über Sensoren, Aufnahme- und Auswerteverfahren bis hin

zum Projektablauf, neuen Anforderungen im Zusammenspiel von Photogrammetrie und Laserscanning sowie eine aktuelle Marktübersicht. Herr GRABAU (Hanack und Partner, Hamburg) sprach über die umfangreichen Erfahrungen seines Büros und somit über Chancen und Risiken des 3D-Laserscanning. Abgerundet wurde diese Sitzung mit den Berichten der HAW Hamburg über detaillierte Genauigkeitsuntersuchungen des Mensi GS100.

In den anschließenden Sitzungen *As-Built-Documentation* und *Architektur und Denkmalpflege* bekamen hauptsächlich Anwender verschiedener Firmen/Ingenieurbüros das Wort. Sie berichteten von ihrer Arbeit mit den unterschiedlichen Systemen und deren wirtschaftlichem Einsatz. Auffallend war, dass insbesondere Büros, die mehrere Geräte und Verfahren zur Auswahl haben, erfolgreich alle Kundenwünsche befriedigen können. Somit geht der Trend zum Zweitgerät. Interessant waren Erfahrungen und Anregungen zur Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Büros, um vorhandene Technik gemeinsam zu nutzen. Die meisten Berichte zeigten, dass die Anwender mit den Scannern zufrieden sind, da die Handhabung der Geräte benutzerfreundlich und leicht verständlich ist. Hingegen beinhaltet die Weiterverarbeitung komplexe Anforderungen an Software und Operator. Hier gibt es noch Entwicklungsbedarf. Aufgrund der vielfältigen Möglichkeiten des Einsatzes von Laserscannern reicht die perfekte Bedienung der Technik nicht aus. Auch die Anforderungen der Kunden sind sehr unterschiedlich. Sie müssen erst durch Kommunikation und gemeinsame Zusammenarbeit ermittelt werden: Wann ist eine Modellierung erforderlich? Ist es sinnvoll, direkt mit den Rohdaten zu arbeiten? Ist eine Datenreduktion angebracht? Wie geht man mit großen Datenmengen um? Wie erkläre ich dem Kunden den Unterschied zwischen Auflösung, relativer und absoluter Genauigkeit? Diese und andere Fragen wurden angesprochen und diskutiert. Verwiesen wurde an dieser Stelle auf das Fehlen eindeutiger Standards bezüglich einer Genauigkeitsanalyse. All diese Faktoren erschweren die Aus-



wahl der richtigen Technologie bei interessierten Neuanwendern, da ca. drei Jahre Erfahrung auf dem Gebiet des Laserscanning benötigt werden, um gewinnbringend mit der Technologie arbeiten zu können.

In der vierten und letzten Sitzung wurden *Neue Anwendungen* präsentiert. So berichteten KAI LORRA & DIRK HEISTERKAMP (LKA Düsseldorf) über den auch wirtschaftlich erfolgreichen Einsatz ihres „neuen Kollegen“, den Laserscanner. Prof. NIEMEIER (TU Braunschweig) sprach über Entwicklungen und Untersuchungen des Einsatzes von Laserscannern in der Unfallforschung. Das *Dinosaurierteam* der TU Berlin stellte die neuesten 3D Rekonstruktionen von Dinosaurierskeletten, neue Modellierungsansätze und die Wichtigkeit dieser Arbeit für die Paläontologie vor. Nach diesem Streifzug durch die halbe Welt, wurde ein norddeutsches Highlight, der virtuelle Klon der *Langen Anna* auf Helgoland, von Frau LINDSTEDT von der HAW Hamburg präsentiert.

Das perfekt organisierte Forum zeichnete sich durch die Diskussionen der Anwender aus, die Probleme und Lösungsansätze erarbeiteten. Die Qualität der Veranstaltung hat gezeigt, dass sich die HAW Hamburg als Standort für Symposien sehr gut eignet. Besonders der Anspruch des *Anwenderforums* wurde durch den regen Erfahrungsaustausch zwischen den Ingenieurbüros erfüllt. Die Hochschulen übernehmen dabei eine wichtige Funktion als Schnittstelle zwischen Anwender und Hersteller, indem sie Technologien testen und neue Ideen für die Weiterentwicklung liefern. Nach den interessanten Vorträgen und den lockeren Pausen kam der wohlverdiente Abschluss am Abend auf der Wiese beim gemeinsamen Grillen und Vertiefen der neu erworbenen Erkenntnisse und Einsichten. Nach der überaus positiven Resonanz ist das 2. Hamburger Anwenderforum für Terrestrisches Laserscanning für Juni 2007 geplant. Weitere Informationen zum Anwenderforum und der Zugriff auf die Vorträge befinden sich im Internet unter: <http://www.haw-hamburg.de/geomatik/tls2005/tls2005.htm>.

Getragen wurde die Veranstaltung von der HAW Hamburg, Fachbereich Geoma-

tik, vom DVW Landesverein Hamburg/Schleswig-Holstein e.V., von der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V., dem Arbeitskreis Nahbereichsphotogrammetrie und dem Verein zur Förderung der Geomatik an der HAW Hamburg e.V.

TIM SUTHAU, Berlin

### DDGI Deutscher Dachverband für Geoinformation e.V.



*Ordentliche Mitglieder* können werden: Institutionen aus den Interessengruppen

- Lehre & Forschung,
- Behörden,
- Fachverbände,
- Wirtschaft oder
- Sponsoren, die den Zweck des Verbandes anerkennen und unterstützen.

*Natürliche Mitglieder:* Personen, die den Zweck des Verbandes anerkennen und unterstützen.

*Fördernde Mitglieder:* juristische oder natürliche Personen, die den Verband durch laufende Zuwendungen, die über dem jährlichen Mitgliedsbeitrag liegen, unterstützen.

Für besondere Verdienste im Bereich Geoinformation kann der Verband Persönlichkeiten auch zum *Korrespondierenden Mitglied* ernennen.

Der DDGI ist Mitglied in der European Umbrella Organisation for Geographical Information EUROGI.

Vorstand des DDGI:

Präsident: Dr. BODO BERNSDORF, CeGi Center for Geoinformation GmbH Dortmund, e-mail: [bodo.bernsdorf@cegi.de](mailto:bodo.bernsdorf@cegi.de)

Vizepräsidenten: Dr. GERD BUZIEK, ESRI Geoinformatik GmbH Kranzberg, Dipl.-Ing. DANIEL HOLWEG, InGeoForum Darmstadt,

Dipl.-Ing. MARTIN KNABENSCHUH, Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen Bonn,

Dipl.-Inform. UWE OSTERKAMP, Pro DV Software AG Dortmund und

Dr.-Ing. ANDREAS ROSE, Bund der Öffentlich bestellten Vermessungsingenieure e.V. Berlin.

Fachberater: Dipl.-Ing. KLAUS BARWINSKI  
Generalbevollmächtigter: DIETRICH ROLLMANN

Geschäftsstelle:

OLIVER MAUS, Geschäftsführer Deutscher Dachverband für Geoinformation e.V., c/o CeGi Center for Geoinformation GmbH, Emil-Figge-Str. 91, D-44227 Dortmund, Tel.: 0231-7978404, Fax: 0231-7978406, <http://www.ddgi.de>, e-mail: [Oliver.Maus@CeGi.de](mailto:Oliver.Maus@CeGi.de)

Neues vom DDGI erscheint regelmäßig im Verbandsorgan GeoBit/GIS im abc-Verlag.  
Quelle: <http://www.ddgi.de>

**International Federation of Surveyors  
Fédération Internationale des Géomètres  
Internationale Vereinigung der  
Vermessungsingenieure**



FIG ist die internationale Dachorganisation der Vermessungsingenieure. Sie wurde 1878 in Paris gegründet und ist eine Vereinigung von nationalen Verbänden. Gegenwärtig gehören der FIG mehr als 100 Verbände an.

Die *Generalversammlung* ist das oberste Gremium der FIG. Sie beschließt die Vereinspolitik. Das *Präsidium*, es wird in Abständen von vier Jahren neu gewählt, hat die Aufgabe, die Vereinspolitik umzusetzen. Für die Jahre 2003 bis 2006 hat das Präsidium der FIG folgende Zusammensetzung: Präsident: Prof. HOLGER MAGEL, München  
Vizepräsidenten:

Dr. ANDREAS DREES, Münster

Prof. Dr. RALF SCHROTH, Münster,  
T.N. WONG, Hong Kong,  
KEN ALLRED, Kanada,  
STIG ENEMARK, Dänemark

Kongressdirektor: THOMAS GOLLWITZER,  
ACCO Representative MATT HIGGINS, AUS

Das *permanente Büro* der FIG hat seinen Sitz in Dänemark, DK-2000 Frederiksberg. Es wird geleitet von Direktor MARKKU VILLIKKA, e-mail: [markku.villikka@fig.net](mailto:markku.villikka@fig.net) und [fig@fig.net](mailto:fig@fig.net)

Die technische Arbeit der FIG wird durch zehn *Kommissionen* organisiert:

1. Berufliche Praxis, Leiter: KLAUS RÜRUP, Bottrop
2. Berufliche Ausbildung, PEDRO CAVERO, Madrid
3. Management raumbezogener Informationen, GERHARD MUGGENHUBER, Wien
4. Hydrographie, ADAM GREENLAND, Gravesend, UK
5. Positionierung und Vermessung, MATT HIGGINS, Brisbane, AUS
6. Ingenieurvermessung, SVEND KOLD JOHANSEN, Skanderberg, DK
7. Kataster & Landmanagement, PAUL VAN DER MOLEN, Apeldoorn, NL
8. Raumplanung und Entwicklung, Ms. DIANE DUMASHIE, Dorset, UK
9. Wertermittlung und Liegenschaftsverwaltung, STEPHEN YIP, Hong Kong
10. Bauwirtschaft und Management, PHILIP SHEARER, London

Die FIG veranstaltet *internationale Konferenzen*, Seminare und Workshops. Im Jahre 2005 sind das u. a.:

- FIG Working Week and 8<sup>th</sup> International Conference of the Global Spatial Data Infrastructure (GSDI-8) in Kairo, Ägypten vom 16. bis 21.4. An dieser bedeutenden Veranstaltung nahmen mehr als 900 Fachleute aus über 80 Ländern mit 400 Vorträgen/Paper teil.
- 4<sup>th</sup> FIG Regional Conference for Latin America and the Caribbean, 26.-29. 9. 2005 in Havanna, Kuba.

Der nächste Kongress der FIG mit Neuwahl des Präsidiums findet vom 26.8. bis 3. 9. 2006 in München statt.

Die FIG publiziert mit folgenden Druck-  
erzeugnissen:

- FIG Annual Review
- FIG Bulletin, quartalsweise
- FIG Publication Series
- Tagungsberichte
- Kommissions-Rundschreiben

Wichtigstes Hilfsmittel zur Kommunikation  
ist die FIG-Homepage <http://www.fig.net>

Die FIG definiert die *Aufgaben und Tätigkeiten der Vermessungsingenieure* im Detail wie folgt: Die Aktivitäten des Vermessungsingenieurs können eine oder mehrere der folgenden Felder umfassen, die sich entweder auf, über oder unter der Boden- bzw. Gewässeroberfläche abspielen. Diese Aufgaben und Tätigkeiten können auch zusammen mit anderen Berufsgattungen ausgeführt werden.

1. Festlegung von Größe und Form der Erde sowie Bestimmen aller notwendigen Daten für Größe, Position, Form und Umriss jedweder Raum- oder Flächenteile einschließlich Beobachtung und Dokumentation von Veränderungen.
2. Positionierung und Überwachung in Raum und Zeit von Objekten, Strukturen und Ingenieurbauwerken auf, über und unter der Erdoberfläche.
3. Entwicklung, Tests und Kalibrierung von Sensoren, Instrumenten und Systemen für die oben erwähnten oder für weitere (Vermessungs-) Zwecke.
4. Erhebung und Verwendung raumbezogener Informationen aus Nahbereichsverfahren, Luft- und Satelliten-gestützten Sensoren und die Automatisierung dieser Prozesse.
5. Grenzbestimmung von öffentlichem und privatem Grundeigentum, einschließlich na-

tionaler und internationaler Grenzen, sowie deren Eintrag in die entsprechenden Register.

6. Gestaltung, Aufbau und Verwaltung geographischer Informationssysteme (GIS) sowie Sammeln, Speichern, Analysieren, Verwalten, Visualisieren und Verbreiten entsprechender Daten und Informationen.

7. Analyse, Interpretation und Integration raumbezogener Objekte und Phänomene mit GIS, einschließlich der Visualisierung und Übertragung dieser Daten in Karten, Modelle und auf mobilen digitalen Geräten.

8. Untersuchung des natürlichen und sozialen Umfeldes, Bestimmen von Land- und Meeresressourcen sowie Verwendung dieser Daten und Informationen für Planungen im städtischen, ländlichen und/oder überregionalen Bereich.

9. Planung, Entwicklung und Sanierung von Grund und Boden, Eigentum und baulichen Anlagen sowohl im städtischen als auch im ländlichen Bereich.

10. Bewertung und Verwaltung von Grund und Boden, Eigentum sowie baulichen Anlagen sowohl im städtischen als auch im ländlichen Bereich.

11. Planung, Messungen zu und Verwaltung von Bauprojekten, einschließlich der Kostenschätzung.

Die Vermessungsingenieure beachten bei allen ihren Aufgaben und Tätigkeiten die maßgeblichen gesetzlichen Vorgaben und berücksichtigen – so weit möglich – alte projektbeeinflussende Faktoren, seien es ökonomische, ökologische oder soziale Aspekte.

Quellen:

- <http://www.fig.net>
- FIG Information 2003–2006 (Faltblatt)

## Persönliches

### **Prof. WOLFGANG FÖRSTNER, von der ASPRS ausgezeichnet mit dem „Photogrammetric Award“ (Fairchild) 2005**

Für seine herausragenden Beiträge zur Entwicklung der Photogrammetrie als Wissenschaft, vor allem bestehend in der Schaffung von Verknüpfungen zwischen Photogrammetrie, Digitaler Bildverarbeitung und Computer Vision, wurde WOLFGANG FÖRSTNER auf der Jahrestagung der Amerikanischen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (ASPRS) im März 2005 mit dieser hohen Ehrung ausgezeichnet.

Seine theoretischen Analysen und sein praktischer Beweis für die Genauigkeit der differentiellen Bildkorrelation haben ergeben, dass Genauigkeiten unter 0,1 Pixel möglich sind, abhängig vom Texturgehalt in den Bildern. Eine seiner bekanntesten Leistungen ist die Entwicklung des nach ihm benannten „*Förstner-Operators*“, einer Berechnungsmethode zur Identifizierung von Punkten in Bildern und zur Charakterisierung der lokalen Bildumgebung, einschließlich ihrer Klassifikation als Knoten oder kreisförmige Strukturen.

Seine jüngsten Arbeiten beziehen sich auf die Integration statistischer Techniken, wie Fehlerfortpflanzung, und statistische Tests, wie sie in der Photogrammetrie klassisch angewendet werden, in das Kalkül der projektiven Geometrie. Diese Integration verspricht die Schaffung einer strengen mathematischen Lösung für viele Algorithmen der Computer Vision und die Bereitstellung einer besseren formalen Grundlage für viele photogrammetrische Operationen.

Prof. Dr.-Ing. WOLFGANG FÖRSTNER ist Direktor des Instituts für Photogrammetrie der Universität Bonn. Er wurde im vergangenen Jahr vom ISPRS-Kongress in Istanbul für den Zeitraum 2004–2008 zum Präsidenten der Kommission III »Photogrammetrische Computer Vision und Bildanalyse« gewählt (vgl. PFG 3/2005, S. 248–250). Er war von 1994 bis 2003 Vizepräsident der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Mustererkennung e.V.

Der „Photogrammetric Award“ (Fairchild) wurde 1943 geschaffen. Mit ihm sollte die Entwicklung der Luftbild-Photogrammetrie in den Vereinigten Staaten von Amerika gefördert werden. Ursprünglich war der Preis von Loral Fairchild Corporation gesponsert worden. Jetzt wird er von Lockheed Martin gefördert.

Die „American Society for Photogrammetry and Remote Sensing“ (ASPRS) ist eine internationale Berufsorganisation, die heute 6000 Mitglieder umfasst. Sie setzt sich vor allem dafür ein, dass neue wissenschaftliche Erkenntnisse genutzt werden und die Verständigung und Zusammenarbeit zwischen den im Kartenwesen aktiv beteiligten Disziplinen Photogrammetrie, Fernerkundung, Geographische Informations-Systeme gefördert wird.

Die ASPRS hat ihren Sitz in 5410 Grosvenor Lane, Suite 210, Bethesda, Maryland 20814–2160, USA. Sie gibt die weltweit anerkannte Monatszeitschrift „Photogrammetric Engineering & Remote Sensing“ (PE&RS) heraus.

Quelle: ISPRS Highlights Vol.10, N° 2, June 2005, p. 45

## Hochschulnachrichten

### Technische Universität Wien

Dipl.-Ing. **JOHANNES OTEPKA** promovierte im November 2004 an der TU Wien mit der Arbeit: *Hochgenaue Messung von Zielmarken in der digitalen Nahbereichsphotogrammetrie (Precision Target Mensuration in Vision Metrology)* zum Dr. techn.

1. Begutachter: Prof. Dr. **KARL KRAUS**, TU Wien, 2. Begutachter: MSc., PhD. **CLIVE S. FRASER**, Melbourne University.

### Kurzfassung

Digitale Nahbereichsphotogrammetrie, im Englischen meist als „Vision Metrology“ bezeichnet, wird heutzutage als flexibles und hochgenaues 3D-Messverfahren in unterschiedlichen industriellen Bereichen verwendet. Durch die Verwendung spezieller Zielmarken ist eine hochgenaue Punktbestimmung markierter Objektpunkte möglich. Die erzielbare Punktgenauigkeit dieser Messmethode liegt bei 1/100.000 der Objektgröße. In diesem Zusammenhang wird der Begriff „Triangulierungsgenauigkeit“ oft verwendet.

Üblicherweise werden für die Signalisierung der Punkte kreisrunde Zielmarken verwendet. Diese erlauben, höchste Genauigkeit zu erzielen. Neben Zielmarken aus retro-reflektierendem Material werden auch einfache weiße Marken auf schwarzem Hintergrund benutzt. Die Wahl des Zielmarkenmaterials bzw. -typs richtet sich nach der geforderten Genauigkeit und dem notwendigen Reflektionsgrad der Signale bei der Aufnahme der Bilder.

Die Messgenauigkeit der Zielmarken ist einer der entscheidenden Faktoren für eine hohe Triangulierungsgenauigkeit. Mithilfe von speziellen Algorithmen werden die Zentren der Zielmarken im digitalen Bild ermittelt, welche es erlauben, die Objektpunkte dreidimensional zu triangulieren. Dabei wird vorausgesetzt, dass Zielmarken „perfekte“ Punkte im Raum darstellen, was auf-

grund der Stärke des Markenmaterials und der Größe des Zielmarkendurchmessers nur bedingt der Fall ist. Diese Tatsache führt zu Exzentrizitäten zwischen den Zentren der abgebildeten Zielmarken und ihren tatsächlichen Mittelpunkten. Daraus resultieren Fehler im Berechnungsprozess, welche zu einer verfälschten Raumlage der Punkte führen. Ist die Orientierung der einzelnen Zielmarken bekannt, so können die entsprechenden Exzentrizitäten rechnerisch ermittelt und damit die Raumlage der Punkte korrigiert werden.

Ein zentrales Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung mathematischer Formeln und Algorithmen für die automatische Bestimmung der Kreisebenen der Zielmarken. Der dafür entworfene Prozess berechnet diese Ebenen in zwei Phasen. Zuerst wird die elliptische Form der abgebildeten Zielmarken aus den digitalen Bildern extrahiert. Anschließend wird diese Information für die eigentliche Berechnung der Kreisebene verwendet, wobei Ausgleichungsverfahren eingesetzt werden. Der dazu entwickelte Berechnungsprozess wurde in das photogrammetrische Softwarepaket „Australis“ implementiert und anhand von praktischen Anwendungen evaluiert.

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden die Ergebnisse von Simulationsrechnungen präsentiert, welche den Einfluss von zwei unterschiedlichen Fehlerarten aufzeigen. Der erste Teil der Simulationen untersucht die Auswirkung der oben angeführten Exzentrizität auf die Objektpunkte. Die zweite Gruppe der Simulationsrechnungen analysiert den Fehlereinfluss von gekrümmten Zielmarken auf den Zielmarkenmessprozess. Dieser Einfluss ist vor allem bei der Vermessung von gewölbten Oberflächen interessant, da hier die Zielmarken direkt auf den zu bestimmenden Oberflächen fixiert werden.

Obwohl bei den vorliegenden Untersuchungen primär theoretische Fragestellungen im Vordergrund stehen, widmet sich ein Teil der Arbeit auch der praktischen Rele-



vanz der entwickelten Prozesse und Algorithmen. Dabei konnte bewiesen werden, dass die Berücksichtigung der Exzentrizitäten entsprechende Genauigkeitsvorteile bei hochgenauen Vermessungen bringt. Zusätzlich werden Vorteile für Oberflächenanalysen sowie Aufgaben mittlerer Genauigkeit aufgezeigt.

### Technische Universität Wien

Frau Dipl.-Ing. **CHRISTINE RIES** promovierte im November 2004 an der TU Wien mit der Arbeit: *Ein allgemeiner Ansatz zur Georeferenzierung von multispektralen Flugzeugscanneraufnahmen* zum Dr. techn.

1. Begutachter: Prof. Dr. **KARL KRAUS**, TU Wien, 2. Begutachter: ao.Prof. Dr. **GEORG GARTNER**, TU Wien.

### Kurzfassung

Das Bedürfnis nach möglichst aktuellen, rasch verfügbaren und detaillierten Informationen über die Erdoberfläche, z. B. in Form von Orthophotos, hat in den letzten Jahren rapide zugenommen. Zur Erfüllung dieses Bedürfnisses sind flugzeuggetragene digitale Aufnahmesysteme aufgrund ihrer flexiblen Einsatzmöglichkeit und aufgrund des durchgehenden digitalen Datenflusses von der Aufnahme bis zum Endprodukt besonders geeignet. Digitale multispektrale Aufnahmesysteme unterscheiden sich gemäß ihrem Aufnahmeprinzip in digitale Flächenkameras und in zeilenweise aufnehmende Systeme (Scannersysteme); letztere werden weiter unterteilt in Ein- und Mehr-Zeilenkameras sowie Rotationsscanner. Je nach Aufgabenstellung kommen unterschiedliche, zum Teil sehr spezialisierte Systeme zum Einsatz; so bieten beispielsweise Rotationsscanner die Möglichkeit der Aufzeichnung von Thermalstrahlung. Eine wesentliche Voraussetzung für die weitere Nutzung multispektraler Aufnahmen z. B. in einem geographischen Informationssystem ist deren Georeferenzierung.

Die Georeferenzierung multispektraler Aufnahmen beinhaltet die Sensororientierung und die nachfolgende Orthophoto-

Herstellung. Für multispektrale Flugzeugscanneraufnahmen werden dabei aufgrund des hoch-dynamischen Aufnahmeverfahrens und der damit verbundenen stetigen Änderung der äußeren Orientierung entlang der Flugbahn erhöhte Ansprüche an das mathematische Modell gestellt. Weiters sind zur Sensororientierung genügend Informationen in Form von Passinformationen am Boden und/oder direkte Beobachtungen der äußeren Orientierungsparameter entlang der Flugbahn notwendig. Letztere werden heutzutage durch den kombinierten Einsatz von Scannersystemen mit integrierten GPS/INS-Systemen (Global Positioning System/Inertial Navigation System) ermöglicht, was dem Einsatz von flugzeuggetragenen Scannersystemen zu einem regelrechten Durchbruch verholfen hat. Dagegen konnten bei älteren multispektrale Scanneraufnahmen die Parameter der äußeren Orientierung noch nicht oder nur zum Teil während des Fluges registriert werden. Die Georeferenzierung solcher Aufnahmen setzt die Verfügbarkeit von genügend Passinformationen am Boden voraus und stellt einen erheblichen Aufwand dar. Dieser Aufwand ist jedoch in Einzelfällen, z. B. wenn die Daten für Zeitreihen von Interesse sind, gerechtfertigt.

Die qualitativ hochwertige Georeferenzierung von multispektralen Scanneraufnahmen mit oder ohne GPS/INS-Unterstützung bedarf eines allgemeinen anwendbaren Ansatzes zur Sensororientierung. In dieser Arbeit wird ein solcher allgemeiner Ansatz präsentiert und seine Praxistauglichkeit an realen Datensätzen erprobt. Der Ansatz wurde am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technischen Universität Wien entwickelt und im hybriden Ausgleichsprogramm ORIENT implementiert. Zur Modellierung der zeitlichen Variation der äußeren Orientierung entlang der Flugbahn werden zusammengesetzte kubische Polynome verwendet, die in den so genannten Knotenpunkten mit zumindest erster stetiger Ableitung zusammenstoßen. Die Bestimmung der Orientierungsfunktion kann einerseits indirekt über Passinformationen am Boden (Punkte und Linienele-

mente) oder/und direkt bzw. integriert mittels GPS/INS-Beobachtungen erfolgen. Zur Erprobung des Ansatzes wurden vom Österreichischen Bundesinstitut für Gesundheitswesen Daten zweier Messflüge von Wien aus den Jahren 1997 und 2000 zur Verfügung gestellt. Bei beiden Flügen kam als Aufnahmesystem der multispektrale Rotations-scanner Daedalus AADS 1268 Airborne Thematic Mapper (ATM) zum Einsatz. Der Messflug 1997 erfolgte noch ohne GPS/INS-Unterstützung; dagegen war für den Messflug 2000 schon GPS/INS-Unterstützung verfügbar. Die erzielte hohe Qualität der Georeferenzierung dieser praktischen Anwendungen bestätigt die Leistungsfähigkeit der präsentierten Methode und ihrer EDV-mäßigen Implementierung.

### Technische Universität Wien

Frau Dipl.-Geogr. **CLAUDIA KÜNZER** promovierte im Januar 2005 an der TU Wien mit der Arbeit: *Ausweisung von Kohlefeuer-Risikogebieten mittels spektraler Test-Sequenzen und partieller Entmischung für Multi-Sensor Fernerkundungsdaten (Demarcating Coal Fire Risk Areas Based on Spectral Test Sequences and Partial Unmixing Using Multi Sensors Remote Sensing Data)* zum Dr. rer. nat.

1. Begutachter: Prof. Dr. **WOLFGANG WAGNER**, TU Wien, 2. Begutachter: Prof. Dr. **MATHIAS SCHARDT**, Joanneum Research Graz.

### Kurzfassung:

Unkontrollierte Kohleflözbrände sind eine Naturkatastrophe und ein wirtschaftliches Problem globalen Ausmaßes. Die Brände existieren weltweit in über 15 Kohle fördernden Ländern und führen nicht nur zur Vernichtung der wertvollen wirtschaftlichen Ressource, sondern auch zu treibhausrelevanten Emissionen. Es wird angenommen, dass Kohlebrandemissionen einem Äquivalent von 0,1% bis 0,2% der jährlichen anthropogen verursachten CO<sub>2</sub>-Emission entsprechen. Des Weiteren setzen sie toxische Gase frei, die sich schädlich auf die Gesund-

heit der Einwohner in den Kohlebrandregionen auswirken. Durch den Volumenschwund im Untergrund führen die Brände zudem zu langsamer Landabsenkung sowie Oberflächeneinbrüchen. Des Weiteren kommt es durch die aus Spalten emittierenden toxischen Gase zu Degradation und Absterben der Vegetation in der unmittelbaren Umgebung.

In China existieren Kohlebrände in über 50 Kohlefeldern, die sich über den nördlichen Kohleabbaugürtel erstrecken. Dieser Gürtel dehnt sich 5000 km von Osten nach Westen über den gesamten nördlichen Teil des Landes aus. Der wirtschaftliche Verlust durch Kohlebrände wird in China auf 20 bis 30 Mio. Tonnen pro Jahr beziffert. Dies entspricht in etwa der deutschen Jahresproduktion an Steinkohle. Viele der Kohleabbau-regionen befinden sich in entlegenen, nur dünn besiedelten Gebieten. Daher stellt die Fernerkundung ein kostengünstiges und robustes Werkzeug dar, um die Brandregionen auf lokalem, regionalem und landesweitem Maßstab zu untersuchen.

Die Arbeit stellt einen konzeptuellen Ansatz und zwei Algorithmen zur automatisierten Ausweisung von Kohlebrandgebieten und zukünftigen Risikogebieten basierend auf Landsat-7 ETM+ und Aster Satellitendaten vor. Der Fokus liegt hierbei auf der Analyse multispektraler Satellitendaten zur Abgrenzung von Gegenden, in denen Kohlebrände mit hoher Wahrscheinlichkeit auftreten. Solche ausgewiesenen Bereiche unterstützen die Differenzierung Kohlebrand-bedingter und anderer Thermalanomalien. Zugleich kann die Ausweisung von Kohlebrand-Risikogebieten die Überwachung von Regionen unterstützen, die ein hohes Gefährdungspotential für die Entstehung der Brände- aber noch keine thermalen Anomalien aufweisen.

Während drei Feldarbeitskampagnen in 2002, 2003 und 2004 konnte beobachtet werden, dass Thermalanomalien von oberflächennahen und unterirdischen Kohlebränden immer in der näheren Umgebung von Kohle an der Erdoberfläche auftreten. Dies können ausstreichende Kohleflöze, Kohleabraumhalden, Kohlelagerhalden oder

Mineneingänge sein. Des Weiteren führen Kohlebrände zur Degradierung und dem Absterben von Vegetation in ihrer unmittelbaren Umgebung. Daher sind unterirdische Kohlebrände nicht unterhalb dicht mit Vegetation bedeckter Böden zu finden. Eine weitere Auswirkung der Brände ist die Entstehung pyrometamorpher Gesteine. Eine hohe thermale Intensität des Brandes vorausgesetzt, kommt es zu Farb- und Texturveränderungen des Umgebungsgesteines. Diese Auswirkungen können in Satellitendaten detektiert werden, wenn diese Gesteine in entsprechend großen Arealen an der Oberfläche exponiert sind.

Basierend auf diesen Beobachtungen wurden in dieser Arbeit zwei Algorithmen entwickelt, um die drei Oberflächentypen aus Fernerkundungsdaten zu extrahieren und Kohlebrandgebiete automatisiert auszuweisen. Bei dem ersten Algorithmus handelt es sich um eine wissensbasierte spektrale Testsequenz, die die automatisierte Extraktion von Kohle, dichter Vegetation und pyrometamorphem Gestein ermöglicht. Kohleflächen werden ausgewiesen und ein Bereich in einem bestimmten Radius wird abgegrenzt. Dieser Radius kann durch den Einfallswinkel der Schichten sowie eine Tiefenbegrenzung von Kohlebränden definiert werden. Innerhalb des Radius werden Gebiete dichter Vegetation eliminiert und pyrometamorphe Areale hervorgehoben.

Der zweite Ansatz basiert auf linear partieller Entmischung. Kohleflächen, Areale dichter Vegetation und pyrometamorphe Bereiche werden mit dieser quantitativen Methode bezüglich ihres prozentualen Sub-Pixel Anteiles extrahiert. Eine spektrale Datenbank, die aus Labor- und Feldmessungen von über 50 verschiedenen Proben erstellt wurde, dient als Referenzdatenbank für die Entmischung. Wie auch der wissensbasierte Ansatz ist diese Methode voll automatisierbar. Beide Algorithmen haben daher in Bezug auf eine großräumige Anwendung einen deutlichen Vorteil gegenüber gängigen überwachten Klassifikations- und Extraktionsmethoden, bei denen interaktive Schritte und ein deutlicher Einfluss des Bearbeiters unvermeidbar sind.

Oberflächenextraktion und die Ausweisung von Kohlebrandgebieten wurde für eine acht ETM+ Szenen umfassende Zeitreihe sowie zwei Aster Szenen für die beiden Untersuchungsgebiete in China vorgenommen. Zusätzlich wurden außerhalb der Untersuchungsgebiete Datensätze für die Gegend Baotou, in Nord-China sowie für die Jharia- und Ray Kohleabbaugebiete in Indien und das Leigh Creek Kohleabbaugebiet in Australien analysiert, um den Transfer der Algorithmen zu demonstrieren. Basierend auf den Ergebnissen automatisierter Kohleextraktion kann ein deutlicher Anstieg der bergbaulichen Aktivitäten in den beiden chinesischen Untersuchungsgebieten innerhalb der letzten 15 Jahre aufgezeigt werden. Extraktionsgenauigkeiten wurden anhand umfangreicher Kartierungen von über 50 Arealen von Kohle-, Vegetation- und pyrometamorphem Gestein sowie dem Vergleich mit sieben kartierten Mischungs-Rastern berechnet. Die Produzenten Genauigkeiten liegen dabei in den Untersuchungsgebieten für alle Oberflächen zwischen 76% und 100%. In den drei Gebieten, in denen der Transfer der Algorithmen getestet wurde, liegen sie im Mittel bei 91%.

Neben den bekannten Kohlebrandbereichen in den beiden Untersuchungsgebieten konnten mehrere neue Kohlebrandgebiete und potentielle Risikogebiete ausgegliedert werden. Diese werden anhand detaillierter Karten vorgestellt. Innerhalb dieser neu ausgewiesenen Kohlebrandgebiete konnten mehrere Thermalanomalien detektiert und bereits als vormals unbekannte Kohlebrände im Gelände verifiziert werden. Dadurch konnte gezeigt werden, dass mit Hilfe der automatisierten Ausweisung von Kohlebrandgebieten die Detektion unbekannter Kohlebrände in Fernerkundungsdaten möglich ist. Die Kombination der Ausweisung von Kohlebrandgebieten und Detektion von Thermalanomalien wurde anhand von sechs Szenen überprüft. Es konnte gezeigt werden, dass die Ausweisung von Brandgebieten die Zurückweisung fälschlich extrahierter Anomalien, die von Industrie, Siedlungen, Biomassebränden, Kalkbrennereien oder solaren Einflüssen re-

sultieren, deutlich unterstützt. Sind Thermalanomalien außerhalb der ausgewiesenen Gebiete lokalisiert, handelt es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht um Kohlebrände. Thermalanomalien konnten hinsichtlich Anzahl und Gesamtgröße für alle prozessierten Szenen um über 50% in Nachtszenen und über 80% in Tagszenen reduziert werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass eine großflächige automatisierte Ausweisung von Kohlebrandgebieten und Risikogebieten möglich ist. In Kombination mit der Auswertung thermaler Daten können somit rezente Kohlebrandbereiche und potentielle Risikogebiete gezielt mit Methoden der Fernerkundung überwacht werden.

### Technische Universität Wien

Dipl.-Ing. DUBRAVKO GAJSKI promovierte im Januar 2005 an der TU Wien mit der Arbeit: *Rasterbasierte Geländeoberflächenanalysen* zum Dr. techn.

1. Begutachter: Prof. Dr. KARL KRAUS, TU Wien, 2. Begutachter: Prof. Dr. TEODOR FIEDLER, Universität Zagreb/Kroatien.

### Kurzfassung:

Diese Arbeit befasst sich mit der rasterbasierten Geländeoberflächenanalyse von digitalen Geländemodellen, insbesondere von Geländemodellen, die vom flugzeuggetragenen Laserscanning stammen. Das flugzeuggetragene Laserscanning ist inzwischen das herausragende Verfahren zur Datenerfassung für sehr genaue Geländemodelle, vor allem in bewaldeten und bebauten Gebieten. Es gibt aber auch einige Schwächen des flugzeuggetragenen Laserscannings, die von der Geomorphologie des Geländes abhängen. Kritische Bereiche sind vor allem Täler mit dichter (und niedriger) Strauchvegetation, weil einerseits in solchen Bereichen die Datenerfassung stark beeinträchtigt ist und andererseits für die Elimination (Filterung) der Laserpunkte auch in der Vegetation keine guten Voraussetzungen gegeben sind. Das Erkennen dieser Unzulänglichkeiten und das Erarbeiten von Methoden zu ihrer Be-

hebung war die Hauptmotivation für diese Arbeit.

Die eingeschlagene Konzeption geht davon aus, dass die Form der Geländeoberfläche durch geomorphologische Prozesse dynamisch gestaltet wird. Vor diesem Hintergrund können unerwartete geomorphologische Geländeformen definiert und mit Methoden der Geländeoberflächenanalyse in digitalen Geländemodellen detektiert werden. Anschließend können die unerwarteten geomorphologischen Geländeformen in digitalem Geländemodell überarbeitet und in realistischere Oberflächenformen überführt werden.

Für die Oberflächenanalyse haben rasterbasierte Methoden große Vorteile; sie sind sehr effizient und erlauben attraktive Visualisierungen; sie können auf das große Methodenangebot der digitalen Bildverarbeitung zurückgreifen. In dieser Arbeit wird auf rasterbasierte Oberflächenanalysen eingegangen, die auf morphometrischen und hydrologischen Gesetzen beruhen.

Die hydrologisch basierte Oberflächenanalyse wird in Gebieten angewandt, die durch überwiegend fluviale Prozesse entstanden sind. Das unzulängliche Geländemodell wird (künstlich) beregnet und der Wasserabfluss wird modelliert. Das Ergebnis sind vor allem

- Flussläufe, die als Strukturlinien in einem erneuten Modellierungsprozess einbezogen werden, und
- abflusslose Räume (Mulden), die durch Absenken der so genannten Muldenpfade beseitigt und hydrologisch plausibel gestaltet werden.

Mit terrestrisch eingemessenen Kontrollpunkten konnte auch eine beachtliche Steigerung der absoluten Höhengenaugigkeit festgestellt werden.

Zusätzlich zum Testgebiet „Wienerwald“, ein typisch fluvial gestaltetes Gelände, wurden die Methoden auch auf der Marsoberfläche im Gebiet des Vallis Marineris, dem größten Grabensystem am Mars, angewandt. Die Marsdaten stammen von der NASA-Mission MOLA (Mars Orbiter Laser Altimeter). Die hydrologischen und

morphometrischen Analyseergebnisse geben detailliert Aufschluss über die Oberflächentopographie des Planeten Mars. Ihre Visualisierungen sind besonders attraktiv. Die erzielten Ergebnisse stehen nun für wissenschaftliche Untersuchungen der geologischen und klimatischen Geschichte des Planeten Mars zur Verfügung.

Die Implementierung der erarbeiteten Methoden wurde im Geländemodell-Programmpaket SCOP++ vorgenommen. Dieses Programmpaket besitzt einen universellen Applikationsrahmen, mit dem die SCOP-Basissoftware verhältnismäßig leicht um ergänzende und neue Algorithmen erweitert werden kann.

### Universität Osnabrück



FerGI lädt zum Schnuppern ein!

Freie Nutzung von e-Learning-Modulen zu Themen der Geoinformatik.

e-Learning-Module nehmen auch bei Themen der Geoinformatik einen immer größer werdenden Stellenwert als Vermittlungsform im Aus- und Weiterbildungsbereich ein. Um die Akzeptanz und Verbreitung noch weiter voranzutreiben, bietet das Konsortium des Projektes „Fernstudienmaterialien Geoinformatik (FerGI)“ ab sofort die kostenlose Nutzung ihrer Kurse in den Vollversionen an.

FerGI, das von der Bund-Länder-Kommission gefördert wird, ist das zurzeit größte laufende e-Learning-Vorhaben im Bereich der Geoinformatik. Ziel ist es, ein hoch qualitatives Angebot zu aktuellen und speziellen Themen der Geoinformatik und Fernerkundung zu erzeugen, das in Lehrbüchern bisher noch nicht oder kaum behandelt worden ist. Die fachliche Expertise zu diesem Pro-

jekt wird durch Institute der Universitäten Osnabrück und Hannover sowie der FH in Oldenburg sichergestellt, die auch das Kompetenzzentrum für Geoinformatik (GiN) bilden. Die mediendidaktische Expertise wird durch das Kompetenznetzwerk VIA-On-line – hier vertreten durch die Universität Hildesheim – eingebracht.

Die im Rahmen des Projektes FerGI bereits fertig gestellten Module werden nun der Öffentlichkeit zur freien Nutzung bis zum Ende des kommenden Wintersemesters (d. h. bis zum 31. März 2006) angeboten. Zum Gebrauch ist lediglich ein Internet-Browser notwendig, aber auch eine Integration in eventuell schon vorhandene Lernplattformen ist denkbar. Eine Übersicht über Titel und Inhalte der Schnuppermodule gibt die Projekt-Website, von wo aus auch die formlose Anmeldung erfolgen kann. Als einzige Gegenleistung bitten die FerGI-Autoren nach dem Einsatz um ein kurzes Feedback, um eine weitere Optimierung der Module zu ermöglichen.

JOCHEN SCHIEWE, Osnabrück

### Hochschule für Technik Stuttgart

Informationslogistik – Neuer Studiengang mit Zukunft

Mobile Kommunikationsnetze haben das Potenzial, den Nutzer an jedem Ort mit Informationen zu versorgen, wann und wo diese am relevantesten sind. Wer auf Reisen geht, kann per Handy nahe gelegene Kinos und Restaurants abfragen und erfährt dabei auch noch, wo der nächste Geldautomat steht. Rettungsdienste, Feuerwehr und Polizei steuern über Mobilfunknetze ihre Einsätze. Speditionen können den aktuellen Aufenthaltsort ihrer Fracht genau mitverfolgen und ihr Flottenmanagement optimieren. Im Zuge des europäischen Satellitennavigationssystems Galileo, das 2008 in Betrieb genommen wird, entstehen derzeit eine Vielzahl weiterer Anwendungen. Ohne diese Kommunikationstechnologien wäre unser modernes Wirtschaftssystem nicht mehr denkbar.



Bei der Realisierung dieser Anwendungen spielt die Informationslogistik eine zentrale Rolle. Als ein Teilgebiet des Informationsmanagements optimiert sie Informationsflüsse hinsichtlich Verfügbarkeit und Durchlaufzeiten von Information. Die Informationslogistik befasst sich mit der Bereitstellung der richtigen Information zur richtigen Zeit in der richtigen Qualität am richtigen Ort.

Als eine der ersten Hochschulen in Deutschland hat die Hochschule für Technik jetzt den Studiengang Informationslogistik eingerichtet. Gefragt ist der Informationslogistiker als Experte im Projekteinsatz in den Bereichen räumliche Information (Geo-Informationssysteme), Kommunikation, Informatik, BWL, Logistik und Consulting. Wer das Studium nach sieben Semestern mit dem *Bachelor of Science (B. Sc.)* abschließt, ist in der Lage, mit allen Projektbeteiligten kompetent – auch in Englisch – zu kommunizieren und diese zu koordinieren.

Auch der benachbarte Diplom-Studiengang Vermessung und Geoinformatik passt sich dem einheitlichen europäischen (Bologna-) Hochschulraum an: vom kommenden Herbst an wird dieser Studiengang – ebenso wie Informationslogistik – als Bachelor-Studium angeboten. Absolventen erwerben damit nicht mehr das Diplom, sondern den *Bachelor of Engineering (B. Eng.)*. Der Vorteil: durch den modularen Aufbau können Studierende jederzeit ein Auslandssemester an einer anderen europäischen Hochschule verbringen, ohne dass komplizierte Studienachweise nötig werden.

Für beide Studiengänge läuft die Bewerbungsfrist bis zum 15. Juli. Weitere Infos auf der Hochschul-Homepage [www.hft-stuttgart.de](http://www.hft-stuttgart.de)

Dipl.-Ing. (FH) ULRICH WALTER Fachhochschule Stuttgart – Hochschule für Technik Fakultät C – Vermessung, Informatik und Mathematik, Schellingstraße 24, 70174 Stuttgart, Telefon 0711-1212510, e-mail: [ulrich.walter@hft-stuttgart.de](mailto:ulrich.walter@hft-stuttgart.de)

## Vorankündigungen

### 2005

21. Oktober: **ISPRS IC WG III/V: 6<sup>th</sup> Workshop on Omnidirectional Vision, Camera Networks & Non-classical Cameras (OMNIVIS2005)** in **Beijing**. Auskünfte durch: Marc Pollefeys, e-mail: [marc@cs.unc.edu](mailto:marc@cs.unc.edu) oder Xianghua Ying, e-mail: [xhying@cis.pku.edu.cn](mailto:xhying@cis.pku.edu.cn), [www.eecs.berkeley.edu/~cgeyer/OMNIVIS05/](http://www.eecs.berkeley.edu/~cgeyer/OMNIVIS05/)

23.–27. Oktober: **PECORA 16**, The William T. Pecora Memorial **Symposium “Global Priorities in Land Remote Sensing”** in **Sioux Falls, SD, USA**. Auskünfte durch: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, [www.asprs.org](http://www.asprs.org)

30. Oktober – 2. November: 2. Internationales **Alfred Wegener Symposium** in **Bremerha-**

**ven** anlässlich des 125-jährigen Geburtstages und 75-jährigen Todestages von Alfred L. Wegener. Auskünfte: [www.alfred-wegener-symposium.de](http://www.alfred-wegener-symposium.de)

31. Oktober – 2. November: 4<sup>th</sup> International **Symposium on Multispectral Image Processing & Pattern Recognition** in **Wuhan, China**. Auskünfte durch: Ms. Shi Lite, Tel./ Fax: +86-27-6877-8969, e-mail: [lilyshi@mail.liesmars.wtusm.edu.cn](mailto:lilyshi@mail.liesmars.wtusm.edu.cn), [www.liesmars.wtusm.edu.cn](http://www.liesmars.wtusm.edu.cn)

31. Oktober – 4. November: 1<sup>th</sup> International **Workshop on Semantic-Based GIS** in **Agia Napa, Zypern**. Auskünfte durch: Dr. E. Stefanakis, Tel.: +30-210-9549162, Fax: +30-210-9514759, e-mail: [estef@hua.gr](mailto:estef@hua.gr), [www.cs.rmit.edu.au/](http://www.cs.rmit.edu.au/)

2.–4. November: **4. Leica Geosystems GIS & Mapping User Group Meeting 2005** in **Fürstentfeldbruck**. Auskünfte durch: Heike Weigand, GEOSYSTEMS GmbH, Riesstraße 10, 82110 Germering, Tel.: 089-8943 4311, e-mail: h.weigand@geosystems.de

3./4. November: **International Symposium on Modern Technologies, Education & Professional Practice in Geodesy & Related Fields** in **Sofia**, Bulgarien. Auskünfte durch: Prof. Dr. G. Milev, Tel.: +359-2-870-040 6, Fax: +359-2-987-9360, e-mail: milev@bas.bg

4. November: Arbeitskreis »Geomultimedia« der Deutschen Akademie für Landeskunde e.V.: **Multimediale Raumanalyse in der Geographie in Halle**. Anmeldung und Einreichung von Beiträgen bei Prof. C. Gläber, Martin-Luther-Universität, Institut für Geographie, Von-Seckendorff-Platz 4, 06120 Halle, Tel.: 0345-55-26020, e-mail: cornelia.glaesser@geo.uni-halle.de

4./5. November: 13<sup>th</sup> **International Symposium of ACM GIS** in **Bremen**. Auskünfte durch: Cyrus Shahabi, e-mail: shahabi@usc.edu, infolab.usc.edu/acmgis05/index.html

4.–6. November: ISPRS Joint Workshop on **Disaster Monitoring & Assessment through Images** in **Bangkok**, Thailand. Auskünfte durch: Dr. Xiaoyong Chen, Tel.: +66-2-524-6407, Fax: +66-2-524-5597, e-mail: xychen@ait.ac.th, www.star.ait.ac.th/dmai2005/

5./6. November: ISPRS WG II/4 & ACRS Preconference **Workshop on Spatial Planning & Decision Support Systems** in **Hanoi**, Vietnam. Auskünfte durch: Prof. Ali Sharifi, Chair WG II/4, Tel.: +31-53-4874261, Fax: +31-53-4874575, e-mail: alisharifi@itc.nl, www.acrs2005.ac.vn

7.–11. November: ISPRS WG II/4 & ACRS **Joint Session on Spatial Planning & Decision Support Systems** in **Hanoi**, Vietnam. Auskünfte durch: Prof. Ali Sharifi, Chair WG

II/4, Tel.: +31-53-4874261, Fax: +31-53-4874575, e-mail: alisharifi@itc.nl, www.acrs2005.ac.vn

7.–11. November: 26<sup>th</sup> **Asian Conference on Remote Sensing (ACRS2005)** in **Hanoi**, Vietnam. Auskünfte durch: ACRS2005 Secretariat, Tel.: +84-4-7562417, Fax: +84-4-8361192, e-mail: eisa.ig@fpt.vn, www.acrs2005.ac.vn

21.–25. November: 8<sup>th</sup> **South East Asian Survey Congress** in **Brunei**. Auskünfte durch: Congress Secretariat, Tel.: +673-2-238 2005, Fax: +673-2-238 2185, e-mail: secretarygeneral@seasc2005.org.bn, www.seasc2005.org.bn

24./25. November: ISPRS WG II/2 **Workshop on Spatial/ Spatio-Temporal Data Mining (SDM) & Learning** in **Ankara**, Türkei. Auskünfte durch: Zuhal Akyürek, e-mail: zakyurek@metu.edu.tr und Workshop Sekretariat, e-mail: sdm05@metu.edu.tr, www.sdm2005.metu.edu.tr/

28.–30. November: 3<sup>rd</sup> **Symposium on LBS and TeleCartography** in **Wien**. Auskünfte durch: Prof. Georg Gartner, e-mail: ggartner@mail.tuwien.ac.at, www.cartography.tuwien.ac.at/symposium2005/

30. November – 2. Dezember: 2<sup>nd</sup> **International Conference “Earth from Space – the Most Effective Solutions”** in **Moskau**. Auskünfte durch: Polina Glazyrina, e-mail: polina@scanex2.ss.msu.ru und Conference Secretary, Tel./Fax: +7-095-939-4284, e-mail: conference@scanex.ru, www.transparentworld.ru/conference/

8.–10. Dezember: ISPRS WG II/4 **Workshop on Spatial Planning & Decision Support Systems** in **Macres**, Malaysia. Auskünfte durch: Prof. Ali Sharifi, Chair WG II/4, Tel.: +31-53-4874261, Fax: +31-53-4874575, e-mail: alisharifi@itc.nl, www.itma.upm.edu.my/isprs

9./10. Dezember: **Geokosmos 4<sup>th</sup> International Conference and Exhibition** in **Moskau**.

Auskünfte unter: [inna\\_bartchan@geokosmos.ru](mailto:inna_bartchan@geokosmos.ru)

15./16. Dezember: 5<sup>th</sup> International **Workshop on Web & Wireless Geographical Information Systems (W2GIS2005)** in **Lausanne**. Auskünfte durch: Dr. Christelle Vangenot, Tel.: +41-21-6935 255, Fax: +41-21-693 5195, e-mail: [christelle.vangenot@epfl.ch](mailto:christelle.vangenot@epfl.ch), [www.lbd.epfl.ch/e/conferences/w2gis05/](http://www.lbd.epfl.ch/e/conferences/w2gis05/)

## 2006

1./2. Februar: **5. Oldenburger 3D-Tage**. Auskünfte durch: Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik und Institut für Mess- und Auswertetechnik der FH Oldenburg. <http://www.fh-ooow.de/3dtage>

13.-15. Februar: **ISPRS WG VIII/11 & EARSeL joint Conference "3D Remote Sensing in Forestry"** in **Wien**. Auskünfte durch: Prof. Werner Schneider, Tel.: +43-1-47654-5100, e-mail: [werner.schneider@boku.ac.at](mailto:werner.schneider@boku.ac.at), [http://ivfl.boku.ac.at/3DR\\_SFForestry](http://ivfl.boku.ac.at/3DR_SFForestry)

1.-3. März: 11. **Münchener Fortbildungsseminar „Geoinformationssysteme“** in **München**. Leitung: Prof. Dr. M. Schilcher. Auskünfte durch: Runder Tisch GIS e.V. und TU München, FG Geoinformationssysteme, Arcisstr. 21, 80290 München. <http://www.run-der-tisch-gis.de>, Tel.: +49-89-2892 28 49, Fax: +49-89-2892 28 78; e-mail: [roland.dietrich@bv.tum.de](mailto:roland.dietrich@bv.tum.de)

2./3. März: 1<sup>th</sup> Workshop of the EARSeL Special Interest Group **Urban Remote Sensing – Challenges & Solutions** in **Berlin-Adlershof**. Auskünfte durch: Prof. Patrick Hostert, Workshop Chairman und Prof. Carsten Jürgens, Chairman EARSeL SIG URS. [www.hurs.de](http://www.hurs.de)

29.–31. März: 5<sup>th</sup> International Symposium **Turkish-German Joint Geodetic Days** in **Berlin**. Auskünfte durch: Prof. Dr. Lothar Gründig, Tel.: +49-30-3142 2375, e-mail: [gruendig@inge3.bv.TU-Berlin.de](mailto:gruendig@inge3.bv.TU-Berlin.de)

30. April–4. Mai: **ASPRS Annual Conference** in **Reno**, Nevada, USA. Auskünfte durch: ASPRS, Tel.: +1-301-493-0290, Fax: +1-301-493-0208, e-mail: [asprs@asprs.org](mailto:asprs@asprs.org), [www.asprs.org/asprs/meetings/calendar.html](http://www.asprs.org/asprs/meetings/calendar.html)

8.–11. Mai: 5<sup>th</sup> International **Symposium on Mobile Mapping Technology (MMT 2006)** in **Padua**, Italien. Auskünfte durch: Prof. A. Vettore, e-mail: [antonio.vettore@unipd.it](mailto:antonio.vettore@unipd.it) oder Prof. N. El-Sheimy, e-mail: [elsheimy@ucalgary.ca](mailto:elsheimy@ucalgary.ca), [www.cirgeo.unipd.it/sitoCIR\\_GEO/mmt\\_frst.html](http://www.cirgeo.unipd.it/sitoCIR_GEO/mmt_frst.html)

8.–12. Mai: **ISPRS Mid-term Symposium Commission VII** in **Enschede**, Niederlande. Auskünfte durch: Prof. John van Genderen, Pres. Com. VII, e-mail: [genderen@itc.nl](mailto:genderen@itc.nl); <http://www.commission7.isprs.org>

8.–10. Juni: **Geomatiktage 2006** in **Luzern**. Auskünfte durch: SGPBF, [www.igs-gfsvvk.ch/d/oeffentlichkeit/veranstaltungen/finde.html](http://www.igs-gfsvvk.ch/d/oeffentlichkeit/veranstaltungen/finde.html)

27.–30. Juni: **ISPRS Mid-term Symposium Commission VI** in **Tokyo/Japan**. Auskünfte durch: Prof. Kohei Cho, Pres. Com. VI., Department of Network and Computer Engineering, Tokai University, 2-28-4, Tomigaya, Shibuya-ku, Tokyo, 151-0063, Japan, Tel.: +813-3481-0611, Fax: +813-3481-0610, e-mail: [kcho@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp](mailto:kcho@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp) oder: [cho@yoyogi.ycc.u-tokai.ac.jp](mailto:cho@yoyogi.ycc.u-tokai.ac.jp), [www.commission6.isprs.org](http://www.commission6.isprs.org)

3.–6. Juli: **ISPRS Mid-term Symposium Commission I "From Sensors to Imagery"** in **Marne-la-Vallée/Paris**. Auskünfte durch: Alain Baudoin, Pres. Com. I, CNES, 2, place Maurice Quentin, F-75039 Paris Cedex 01, Tel.: +33-14476 7810, Fax: +33-14476 7867, e-mail: [alain.baudoin@cnes.fr](mailto:alain.baudoin@cnes.fr), [www.cnes.fr](http://www.cnes.fr), [www.commission1.isprs.org](http://www.commission1.isprs.org)

12.–14. Juli: **ISPRS Mid-term Symposium Commission II** in **Wien**. Auskünfte durch: Prof. Wolfgang Kainz, Pres. Com. II., Department of Geography and Regional Research, University of Vienna, Universi-

tätsstr. 7, A-1010 Wien. Tel.: +43-1-427 7-48640, Fax: +43-1-4277-9486, e-mail: wolfgang.kainz@univie.ac.at, <http://homepage.univie.ac.at/wolfgang.kainz>, [www.commission2.isprs.org](http://www.commission2.isprs.org)

31. Juli – 4. August: **IEEE/ IGARSS 2006** in **Denver**, CO, USA. Auskünfte durch: Ms. Lisa A. Ostendorf, Tel.: +1-540-658-1676, Fax: +1-540-658-1686, e-mail: [ieeegrss@adelphia.net](mailto:ieeegrss@adelphia.net), <http://www.igarss06.org>

3.–7. September: **ISPRS Mid-term Symposium Commission VIII “Remote Sensing Applications and Policies”** in **Haifa**, Israel. Auskünfte durch: Ammatzia Peled, Pres. Comm. VIII, e-mail: [peled@geo.haifa.ac.il](mailto:peled@geo.haifa.ac.il), <http://www.commission8.isprs.org>

20.–22. September: **ISPRS Mid-term Symposium Commission III “Photogrammetric Computer Vision 2006”** in **Bonn**. Auskünfte durch: Prof. W. Förstner, Pres. Comm. III, e-mail: [wf@ipb.uni-bonn.de](mailto:wf@ipb.uni-bonn.de), <http://www.commission3.isprs.org>

25.–27. September: **ISPRS Mid-term Symposium Commission V “Image Engineering and Vision Metrology”** in **Dresden**. Auskünfte durch: Prof. Hans-Gerd Maas, Pres. Comm. V, e-mail: [hmaas@rcs.urz.tu-dresden.de](mailto:hmaas@rcs.urz.tu-dresden.de), <http://www.commission5.isprs.org>

8.–13. Oktober: **XXIII. Internationaler FIG-Kongress** in **München**. Auskünfte durch: FIG Office, Tel.: +45-38-861081, Fax: +45-38-860252, e-mail: [fig@fig.net](mailto:fig@fig.net) und Thomas Gollwitzer, Kongressdirektor, Tel.: 49-9-414022-200, Fax: +49-9-414022-101, e-mail: [congress.director@fig2006.de](mailto:congress.director@fig2006.de)

9.–13. Oktober: **IX Global Spatial Data Infrastructure Conference** in **Santiago**, Chile. Auskünfte durch: Instituto Geografico Militar (IGM), e-mail: [gdsi9@igm.cl](mailto:gdsi9@igm.cl), [www.igm.cl](http://www.igm.cl)

10.–12. Oktober: **INTERGEO 2006** in **München**, Messegelände. Kongressdirektor: Dipl.-Ing. Walter Henninger. Auskünfte durch: e-mail: [www.dvw.de](http://www.dvw.de), [www.intergeo2006.de](http://www.intergeo2006.de) und [www.hinte-messe.de](http://www.hinte-messe.de)

10.–13. Oktober: **ISPRS Mid-term Symposium Commission IV “Geospatial Databases for Sustainable Development”** in **Goa/Indien**. Auskünfte durch: Shailesh Nayak, Pres. Comm. IV, e-mail: [snaykad1@sancharnet.in](mailto:snaykad1@sancharnet.in) oder: [shailesh@sac.isro.org](mailto:shailesh@sac.isro.org) <http://www.commission4.isprs.org>

## 2008

14.–25. Juli: **21. ISPRS Kongress** in **Beijing**, China. Auskünfte durch: CSGPC, Tel.: +86-10-6833 9005, Fax: +86-10-6831 1564, e-mail: [fanbsm@public.bta.net.cn](mailto:fanbsm@public.bta.net.cn), <http://www.isprs2008-beijing.com>

## Buchbesprechungen

**PETER KOHLSTOCK:** Kartographie. Eine Einführung. 1. Aufl., 227 S., 128 s/w-Abbildungen, 10 Farbabbildungen. Verlag Ferdinand Schöningh, Paderborn 2004 (für eine Verlags-ARGE der DACH-Länder), ISBN 3-506-71710-3.

Der Autor, studierter Kartograph (FH) und Geodät (TU) mit mehr als 20-jähriger Lehr- erfahrung auf den Gebieten „Kartographie, Photogrammetrie und Topographische Ver-

messung“ sowie „Luftbilddauswertung“, hat sich der nicht leichten Aufgabe unterzogen, in der UTB-Reihe „Geowissenschaften“ auf gut 200 A5-Seiten *die Grundlagen dieser als schwierig geltenden Bereiche des geographischen bzw. geowissenschaftlichen Studiums* (Zitat vom hinteren Buchdeckel) zu vermitteln.

Das in 9 Kapiteln (Einleitung, Abbildung der Erdoberfläche, Topographische Landes- aufnahme, Topographische Karten, Bild-

karten, Thematische Karten, Topographische und thematische Informationssysteme, Kartenherstellung, Kartennutzung) gut gegliederte Werk hebt sich in seinem Aufbau deutlich von dem viel umfassenderen Standardlehrbuch von HAKE, GRÜNREICH und MENG ab. Gerade bei den geometrischen Aspekten weist es Stärken auf. Die Grundlagen der kartographischen Visualisierung sind – dem Seitenumfang zu schulden? – leider vernachlässigt. So fehlen die grundlegenden Arbeiten über graphische Semiologie von J. BERTIN und Kartennutzungstheorie von ST. MCEACHREN sowohl inhaltlich im Text als auch im Literaturverzeichnis. Weshalb zum Aspekt der immer mehr an Bedeutung gewinnenden Internet-Kartographie (Web Mapping, „Remote Cartography“) lediglich der Begriff der „Webatlanten“ mit 3 Zeilen erwähnt wird, ist unklar. Zu den wichtigen aktuellen Entwicklungen der Pseudo-3D-Kartographie fallen lediglich die Begriffe Panorama und Blockbild mit 8 Zeilen Erläuterungstext. Über Echt-3D-Kartographie wird nicht berichtet. Auch die bereits etablierte Technologie der kartographischen Location-Based Services (LBS) sucht man vergebens.

Schade, dass in einer deutschsprachigen Einführung in die Kartographie, die von einer Arbeitsgemeinschaft deutscher (12), österreichischer (2) und schweizer (2) Verlage herausgegeben wurde, bei den amtlichen topographischen Kartenwerken nur auf Deutschland eingegangen wird und die Gegebenheiten in den Nachbarländern nicht erwähnt werden. Ein(ig)e Tabelle(n) hätte(n) hier gute Dienste erwiesen. In jedem Falle tun dies die 128 sehr anschaulichen bzw. zusammenfassenden Schwarzweißabbildungen. Die Kartenausschnitte in den 10 Farbabbildungen im Format A6 ergänzen den Text mit Beispielen topographischer bzw. chorographischer Karten.

Das weitestgehend nur deutschsprachige Literatur umfassende und in vielen Fällen auf vergleichsweise alte Publikationen zurückgreifende Literaturverzeichnis weist eine etwas eigenwillige Auswahl von Zeitschriftenartikeln und Lehrbüchern auf. So ist z. B. unklar, warum bei letzteren zwar das

Buch über Geländedarstellung von W. HOFFMANN aus dem Jahre 1971, nicht aber jenes (bedeutendere) über dasselbe Thema von E. IMHOF (1965/68) angeführt ist; oder weshalb die beiden GIS-Bände von R. BILL (1999) bei den Lehrbüchern, die Bücher von N. BARTELME (1995) und W. GÖPFERT (1991) über dieses Thema unter „Sonstiges Schrifttum“ zu finden sind. Die bekannten Bände von F. DICKMANN über „Web-Mapping und Web-GIS“ und „Computerkartographie und GIS“ aus den letzten Jahren werden leider nicht erwähnt.

Positiv anzumerken ist das umfassende Stichwortverzeichnis. Schade, dass hier einige „Fehlstellen“ zu finden sind: Weshalb ist ETRS, nicht aber EUREF angeführt? Oder, warum findet man zwar ALK und ALKIS, nicht aber ATKIS? – Die klare und konzise Formulierung erhöht den Gebrauchswert des Buches, das zweifelsohne eine recht preiswerte Alternative zu umfangreicheren, aber deutlich teureren Werken darstellt.

MANFRED F. BUCHROITHNER, Dresden

**NORBERT BARTELME (2005):** Geoinformatik. Modelle, Strukturen, Funktionen. Springer Verlag, Heidelberg. 4. vollst. überarbeitete Auflage. 454 S., 146 Abb. Softcover. ISBN 3-540-20254-4.

NORBERT BARTELME von der TU Graz legt mit dieser Neubearbeitung seines Grundlagenwerkes zur Geoinformatik wieder einmal ein äußerst ansprechendes Werk vor. Die Fortschreibung des Themas über nunmehr nahezu zwei Jahrzehnte gelingt ihm exzellent. Lag bei der Überarbeitung der letzten Auflage der Schwerpunkt im interoperablen Gedanken, so leiten ihn dieses Mal einerseits die inzwischen verabschiedeten umfangreichen Normen und andererseits die Idee der Geodienste, die von mobilen Nutzern bis hin zu GIS-Experten aufgegriffen werden.

Das Buch besteht aus 10 Kapiteln, gefolgt von einer umfangreichen Literatursammlung sowie Abkürzungen und einem Abbil-



dungs- und Sachverzeichnis. Im einführenden Kapitel definiert er die wichtigsten Begriffe und umreißt das Gesamtspektrum des Buches. Im zweiten Kapitel behandelt er das konzeptionelle Modell. In den folgenden vier Kapiteln legt BARTELME die Grundlagen zu Vektor- und Rasterdaten, zum Feldkonzept und zur Semantik bzw. Objektsicht. In Kapitel 7, mit „Tuning“ titulierte, regelt der Verfasser nach, in dem er nach den eher allgemein gehaltenen Einführungen nun tiefer gehende Fragestellungen z. B. zu Bezugssystemen, zur Datenqualität, zur Zeit als weitere Dimension oder zur Wissensrepräsentation nachlegt. Damit deutet der Autor an, dass auch zur Nutzung von Geo-Informationssystemen weitreichende Kenntnisse aus der Mathematik und Informatik notwendig sind und dass hier auch noch ein enormer Forschungsbedarf besteht. Kapitel 8 behandelt Raumbezugsformen, vielleicht etwas spät im Werk angesiedelt. Kapitel 9 beleuchtet die Datenbanksicht auf die Geowelt. In Kapitel 10 rundet BARTELME das Thema un-

ter dem Gesichtspunkt der Interoperabilität und der damit im Zusammenhang entstehenden Marktplätze für Geoinformation und der Dienste-Etablierung ab.

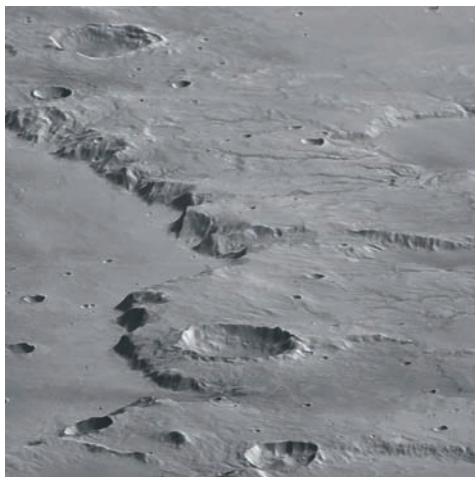
Dem Autor kann zu diesem gelungenen Werk nur gratuliert werden. Das Besondere an dieser Auflage ist die durchgängige Orientierung an der internationalen Normung. Hier profitiert der Verfasser durch seine Mitwirkung als österreichischer Vertreter im Normungsgeschehen. Dadurch vermittelt das Lehrbuch eine sehr stringente (normgerechte) Sichtweise auf die Geoinformatik.

Das Buch ist daher jedem Studierenden und Lehrenden in der Hochschullandschaft zur Lektüre nahelegen. Auch Nutzern und Entwicklern von GIS wird es empfohlen, da es leicht verständlich, aber auf modernstem Stand in die Geoinformatik grundlegend einführt. Hiervon kann jeder in der GIS-Branche nur profitieren.

RALF BILL, Rostock

## Zum Titelbild

### HRSC on Mars Express – Der Rand des Kraters Huygens



© ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum)

Die vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) betriebene hoch auflösende Stereokamera HRSC an Bord der ESA-Mission Mars Express hat am 20. Juni 2004 den östlichen Rand des großen Einschlagkraters Huygens auf dem Mars aufgenommen. Die Bilddaten wurden während des Orbits 532 mit einer Auflösung von etwa 70 Meter pro Bildpunkt gewonnen. Die in Perspektivansicht abgebildete Region liegt bei 14 Grad südlicher Breite und 61 Grad östlicher Länge.

Der Einschlagkrater Huygens hat einen Durchmesser von etwa 470 Kilometer und befindet sich in dem stark mit Kratern besetzten südlichen Hochland des Mars. Aus Zählungen der Krater im Randgebiet des Einschlagbeckens kann man ein Alter für den Huygens-Krater von fast 4 Milliarden Jahren bestimmen. Das bedeutet, dass er sehr früh in der Geschichte des Mars ent-

standen ist und von einer Phase heftigen Bombardements in den ersten 500 Millionen Jahren im Leben des Planeten zeugt.

Huygens besitzt einen inneren Ring, der durch eine später eingetragene Sedimentschicht weitestgehend verdeckt ist. Der östliche Rand des Kraters, der auf dem HRSC-Bild zu sehen ist, ist stark erodiert und zeigt ein deutlich ausgeprägtes dendritisches (verzästeltes) Muster. Dieses ist möglicherweise durch die Einwirkung von oberflächlich abfließendem Wasser entstanden. Die Täler sind mit dunklerem Material bedeckt, das entweder durch Wasser oder Wind in die tiefer liegenden Gebiete transportiert wurde. Teile des dargestellten Gebietes sind von leicht rötlichem Material bedeckt. Dies deutet auf eine unterschiedliche chemische Zusammensetzung hin.

Das Kameraexperiment HRSC auf der Mission Mars Express der Europäischen Weltraumorganisation ESA wird vom Principal Investigator Prof. Dr. GERHARD NEUKUM (Freie Universität Berlin), der auch die technische Konzeption der hoch auflösenden Stereokamera entworfen hat, geleitet. Das Wissenschaftsteam besteht aus 45 Co-Investigatoren aus 32 Instituten und zehn

Nationen. Die Kamera wurde am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) unter der Leitung des Principal Investigators (PI) GERHARD NEUKUM entwickelt und in Kooperation mit industriellen Partnern gebaut (EADS Astrium, Lewicki Microelectronic GmbH und Jena-Optronik GmbH). Die Kamera wird vom DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin-Adlershof betrieben. Hier erfolgt auch die systematische Datenprozessierung.

Zur Erstellung von Farbbildern wird ein Digitales Geländemodell (DGM) benutzt, das aus den Daten der Stereokanäle gewonnen wird. Die orthorektifizierte Daten des Nadirkanals und der Farbkanäle werden zu Farbbildern kombiniert. Unter Verwendung des DGM können dann perspektivische Ansichten berechnet werden.

Die hier gezeigte Darstellung wurde vom Institut für Geologische Wissenschaften der FU Berlin in Zusammenarbeit mit dem DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin erstellt.

JÖRG ALBERTZ, Berlin  
(nach Pressemitteilungen)

## Neuerscheinungen

ERICH BUHMANN & JOACHIM WIESEL, 2005: GIS-Report 2004. Software, Daten, Firmen. 9. Aufl., 336 S. zahlr. Abb. und Tab., Format 240 mm × 165 mm., broschiert. Bernhard Harzer Verlag GmbH, Westmarkstraße 59/59a, D-76227 Karlsruhe. Fax: +49-721-944 0230, e-mail: info@harzer.de, <http://www.gis-report.de>, ISBN 3-9808493-4-1, ISSN 1618-8055. € 24,00

ALFRED NISCHWITZ & PETER HABERÄCKER, 2005: Masterkurs Computergrafik und Bildverarbeitung, 860 S. Vieweg Verlag, Wiesbaden, ISBN 3-528-05874-9, € 49,90

THOMAS LUHMANN (Hrsg.), 2005: Photogrammetrie-Laserscanning-Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2005. IX, 326 S. Softcover mit CD-ROM. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: kundenservice@huethig.de; ISBN 3-87907-420-8. € 52,00

BERND STREICH, 2005: Stadtplanung in der Wissensgesellschaft – Ein Handbuch. 657 S., 212 Abb., broschiert, inkl. DVD-ROM mit rd. 1 GB Zusatzinformationen. VS – Verlag Wiesbaden, [www.vs-verlag.de](http://www.vs-verlag.de), [www.urbanis.de](http://www.urbanis.de); ISBN 3-531-145 69-X.